



Geografiska beställningar av virke inom SCA Skogs skogsförvaltning i Västerbotten

*Geographical orders of wood within SCA Skog's forest district in
Västerbotten*

Sofie Lundberg

**Arbetsrapport 18 2016
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Tomas Nordfjell**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Geografiska beställningar av virke inom SCA Skogs skogsförvaltning i Västerbotten

*Geographical orders of wood within SCA Skog's forest district in
Västerbotten*

Sofie Lundberg

Nyckelord: kostnad, avverkning, logistik, planering, transport

Arbetsrapport 18 2016

Master thesis in Forest Management at the Department of Forest Biomaterials and Technology, 30 hp
EX0772, A2E, Jägmästarprogrammet

Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi Extern

handledare: Henrik Sakari, SCA Skog AB Virkesenheten

Examinator: Dimitris Athanassiadis, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2016

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Den här studien har utförts som ett examensarbete motsvarande 30 hp i ämnet skogshushållning vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå.

Uppdragsgivare och värdföretag har varit SCA Skog, Virkesenheten och studieområde har varit Västerbottens skogsförvaltning inom SCA Skog.

Jag vill rikta ett stort tack till Anna Bylund, Produktionschef vid Västerbottens skogsförvaltning, SCA Skog, för visat engagemang och som bidragit med information och kunskap. Jag vill även tacka Lars Eklund, Transportledare Västerbottens skogsförvaltning, SCA Skog, och Jonas Ölund, Flödesplanerare, SCA Skog, som båda bidragit med information och kunskap.

Jag vill rikta ett särskilt stort tack till Mikael Frisk, Konsult vid Mikael Frisk Konsult AB, för genomförandet av optimeringar via FlowOpt samt för ovärderligt stöd och hjälp under arbetets gång. Mikael har även bidragit med mycket kunskap på ett förståeligt och pedagogiskt sätt.

Jag vill även rikta ett särskilt stort tack till Henrik Sakari, Kundförsörjningschef vid Virkesenheten, SCA Skog, som varit min handledare på värdföretaget. Henrik har visat stort engagemang och stöd, bidragit med kunskap och material samt kommit med förslag till problemlösningar.

Till sist vill jag även rikta ett särskilt stort tack till min handledare vid SLU Tomas Nordfjell, Professor vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, för sitt engagemang, stöd och goda råd under arbetets gång.

Umeå i juni 2016

Sofie Lundberg

Sammanfattning

Västerbottens skogsförvaltning inom SCA Skog utformar sin egen avverkningsplanering, vilken benämns ”nuvarande beställningar av virke till mottagningsplatser”. De försöker då att minimera flyttkostnader för avverkningsmaskiner genom att klustra avverkningstrakterna. Förvaltningen tar inte alltid hänsyn till mottagningsplatsernas geografiska belägenhet. Sammantaget leder det till att transporter ofta går kors och tvärs genom förvaltningen, samt att transportsträckorna blir långa. Virkesenheten inom SCA Skog vill undersöka möjligheterna med att utgå från geografiska beställningar av virke till mottagningsplatser där avverkningsplaneringen istället utgår från att minimera transportavstånden från avlägg till mottagare och därigenom minska transportkostnaden.

Syftet med studien var att undersöka om transportkostnad, totalt transportarbete, medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd minskar vid övergång till geografiska beställningar inom Västerbottens skogsförvaltning.

Studien utfördes genom flödesoptimeringar via FlowOpt av transport- och produktionsdata från 2015 av förvaltningen. Optimeringarna simulerade nuvarande beställningar av virke samt geografiska beställningar av virke. Optimeringsresultaten jämfördes och besparingspotentialer uppskattades.

Studien visade att besparingspotentialen låg mellan 1,5 och 6,3 miljoner kr per år inom SCA Västerbottens skogsförvaltning, vilket motsvarade 1,6 till 6,9 procent av förvaltningens totala transportkostnad under 2015. Besparingspotentialen av det totala transportarbetet låg mellan 2 och 8,9 procent av förvaltningens totala transportarbete under 2015.

För att säkerställa besparingspotentialer för Västerbottens skogsförvaltning genom geografiska beställningar av virke bör även avverkningskostnadens påverkan undersökas då mängden maskinflyttar mellan avverkningstrakterna ökas.

Nyckelord: kostnad, avverkning, logistik, planering, transport.

Summary

The forest district of Västerbotten at SCA Skog formulate its own harvest planning, which is called “current order of wood to the receiving sites”. They will attempt to minimize removal costs for harvesting machines by cluster felling areas. The district does not always consider the receiving sites geographic location. Overall, this leads to the transportation often goes criss-cross through the district and the transport distances are long.

Virkesenheten at SCA Skog wants to explore the possibility of beginning with geographic orders of wood to the receiving sites where the wood harvest planning instead are based on minimizing transport distances from landings to receiving sites, thereby reducing transportation costs.

The purpose of the study was to investigate if the transport cost, total transport output, average transport distance and the volume weighted average transport distance reduces with geographic orders of wood in the forest district of Västerbotten.

The study was performed by flow optimizations through FlowOpt of the transport- and production data from 2015 of the district. The optimizations simulated current orders of wood and geographic orders of wood. The optimization results were compared and potential savings estimated.

The study showed that the savings potential was between 1.5 and 6.3 million SEK per year within the SCA forest district of Västerbotten, which corresponded to 1.6 to 6.9 percent of the districts overall transport costs in 2015. The savings potential of total transport was between 2 and 8.9 percent of total transport output in 2015.

To ensure savings potentials for the forest district of Västerbotten through geographic orders of wood, also impact of the harvesting cost should be examined as the amount of equipment moving between felling areas increased.

Keywords: cost, harvesting, logistics, planning, transportation.

Innehåll

Förord	2
Sammanfattning.....	3
Summary.....	4
1. Inledning.....	6
1.1 System för planering av skogsbruk	7
1.2 Försörjningskedja	9
1.3 Likheter mellan den skogliga virkesförsörjningskedjan och skoglig planering	12
1.4 Optimeringslära	14
1.5 Optimeringssystem	17
1.6 Transportoptimeringssystemet FlowOpt	18
1.7 SCA och SCA Skog AB	20
1.8 SCA Västerbottens skogsförvaltning.....	23
1.9 Nuvarande beställningar av virke	28
1.10 Geografiska beställningar av virke	29
1.11 Problemformulering	29
1.12 Syfte.....	30
2. Material och metoder.....	31
2.1 Databeskrivning.....	31
2.2 Datahantering och bearbetning.....	32
2.3 Flödesoptimering via transportoptimeringssystemet FlowOpt	35
3. Resultat	40
3.1 Transportkostnad	40
3.2 Jämförelser av transportarbete och avstånd.....	43
3.3 Skillnader i geografisk spridning av bestånd mellan Optimeringslösning 4 ”NB.III” och Optimeringslösning 5 ”GB.III”	44
4. Diskussion	47
4.1 Optimering.....	47
4.2 Optimeringsresultat	49
4.3 Jämförelser med tidigare studier.....	51
4.4 Införande av geografiska beställningar på Västerbottens skogsförvaltning.....	51
4.5 Fortsatt forskning inom området	52
4.6 Slutsats.....	53
Referenser	54
Bilaga 1 FlowOpt formler.....	56
Bilaga 2 FlowOpt formler för heltalsproblem	64

1. Inledning

Sverige är ett av världens mest skogsrika länder per capita, och sammanlagt är mer än hälften av landets yta täckt av skog. Ungefär hälften av den svenska skogen ägs av privata personer. Av den resterande skogen ägs ungefär 40 procent av privatägda eller statsägda aktiebolag. De svenska skogarna innehåller framförallt trädslagen gran, tall och björk och det mesta av allt virke som avverkas och tas ur skogen vidareförädlas av sågverk eller pappersindustrier (Skogsstyrelsen, 2014).

Den svenska skogsindustrin har en betydande roll i den svenska ekonomin (Skogsindustrierna, 2015). Under 2013 var värdet av Sveriges totala export av skogs- och skogsindustriprodukter 119 miljarder kr, vilket utgjorde cirka 11 procent av den totala transporten av samtliga varor (Skogsstyrelsen, 2014). Till följd av att råvaran är inhemsk och att importen av skogsindustriprodukter är förhållandevis liten är skogsindustrin kraftigt inriktad på export, vilket ger ett viktigt bidrag till Sveriges handelsbalans (Skogsindustrierna, 2015). Närmare 90 procent av papp- och pappersproduktionen exporterades, medan 70 procent av produktionen för sågade och hyvlade trävaror exporterades under 2013. Av pappersmassaproduktionen exporterades cirka 35 procent under 2013. Detta leder till att Sverige är världens tredje största exportör av papper och papp samt sågade och hyvlade trävaror. Sverige är även världens femte största exportör av pappersmassa. Inom Europa är Sverige den största producenten av pappersmassa, den näst största producenten av papper och papp, samt den tredje största producenten av sågade och hyvlade barrträvaror (Skogsstyrelsen, 2014). Skogsbruket och skogsindustrin anses ha en klustrande egenskap i Sverige, där samarbete med bland annat leverantörer, transportsektorn, IT-industrin och byggsektorn är väl utvecklade (Skogsindustrierna, 2015).

Till följd av Sveriges geografiska läge har svenska skogsindustriföretag långa transportavstånd till sina huvudmarknader jämfört med konkurrenter i andra länder. För att konkurrera på marknaden och överbrygga dessa nackdelar har den svenska skogsindustrin tvingats bygga upp effektiva logistik- och transportsystem, framförallt för sin export. Idag köper skogsindustrin transporttjänster för ungefär 25 miljarder kronor per år, och är därmed Sveriges största transportköpare (Skogsindustrierna, 2013). Under 2012 utgjorde 22 procent av all inrikes transportarbete med lastbil och järnväg av skogs- och skogsindustriprodukter (Skogsstyrelsen, 2014). Transporter utförs mestadels av transportleverantörer istället för skogsindustriernas egna fordon. Användandet av flera olika transportmedel som tåg, fartyg och lastbil har optimerat transporterna. Det gäller inte minst för transporter av skogsråvara. För att ytterligare minska onödiga transporter av skogsråvara har logistiken för transporter effektiviserats genom samverkan av transporter samt genom virkesbyten mellan olika skogsbolag (Skogsindustrierna, 2013).

Det huvudsakliga transportmedlet för skogsråvaror från skog till industrier är lastbilstransporter eftersom andra alternativ ofta saknas. För transporter från hamn eller järnvägsterminal till kund är oftast lastbilstransporter det enda möjliga alternativet. För ett åkeri idag är bränslekostnaden drygt en tredjedel av de totala kostnaderna, och utgör därmed en stor kostnadspost. Genom att effektivt styra, uppfölja och planera kan bränsleförbrukningen och därmed miljöbelastningen sänkas. Därför arbetar branschens

många aktörer med att optimera sin verksamhet och inte minst fordonens rutter (Skogsindustrierna, 2013).

1.1 System för planering av skogsbruk

För att förbättra förvaltningen av skogsbruk och naturresurser används skogliga planeringsprocesser som vägledning. Skogliga planeringar gör att markägare och förvaltare av skogsmark kan jämföra konsekvenserna av olika typer av handlingar, för att slutligen finna den bästa typen av handling som möter markägarens eller förvaltningens mål. En planering bör även hjälpa en skogsägare eller förvaltare att förstå de ekonomiska-, ekologiska och sociala konsekvenser som olika handlingsaktiviteter kan innebära samt öka förståelsen för vilka associerade risker och osäkerheter som kan tillskrivas dessa handlingar. Planeringsprocesser inom organisationer för bland annat skogliga företag, föreningar och statligt ägd mark kan variera stort vad avser komplexitet och bredd. Något som planeringsprocessen har gemensamt oavsett skogsförvaltande organisationer är att den indelas i tre olika nivåer, vilka är strategisk-, taktisk- och operativ nivå. Innehållet och komplexiteten kan variera relativt mycket inom de tre planeringsnivåerna (Bettinger et al., 2009). Det som framförallt skiljer de olika planeringsnivåerna åt är detaljupplösningen, vilken generellt är högre ju närmare nutid planeringen avser (figur 1) (Ståhl & Wilhelmsson, 1994).

Strategisk plan

Strategiska planer för skogsbruk är en övergripande och långsiktig plan med relativt låg upplösning, och tidshorisonten är normalt kring 100 år (figur 1) (Ståhl & Wilhelmsson, 1994).

Taktisk plan

Den strategiska planen är en övergripande och storskalig planering som inte tar hänsyn till den rumsliga närheten mellan förvaltningsaktiviteter och resurser eller andra aktiviteter. Detta kan generera praktiska problem i fältarbetet och en viss oförmåga att värdera de potentiella konsekvenser som en planering kan innebära. För att överbrygga denna problematik utformas taktiska planer. En taktisk plan tar hänsyn till det rumsliga förhållandet mellan förvaltningens olika aktiviteter, och har en tidshorisont mellan 1 till 20 år (figur 1). Inom den taktiska planeringen används beståndsbaserade geografiska kartor och finskalig tillväxt- och produktionsinformation för att förtydliga den rumsliga och tidsmässiga fördelningen av skogsinnehavet och dess föreslagna aktiviteter. Ett flertal skogsföretag utformar avverkningsplaner om 1 till 3 år som kan anses utgöra en taktisk plan. Exempelvis föreslår sådana avverkningsplaner var och när naturresursaktiviteter skall implementeras. Dessutom utförs rumsliga analyser av planeringens effekter inom den taktiska planeringen. Typiska frågeställningar i en taktisk planering handlar generellt om hur en strategisk plan skall implementeras och innehåller aspekter och synvinklar som inte upptäcktes under utformningen av den strategiska planen. Inom den taktiska planen är resultaten av den strategiska planen spatialt uppdelade för att lokalisera var i geografin som enskilda aktiviteter planeras att äga rum eller var olika habitat och skogsbestånd finns. Exempelvis skall avverkningarnas storlek och form samt strandområden och grönområden för djurliv vara klarlagt spatialt inom den taktiska planeringsnivån. Den taktiska planeringen kan få en relativt avgörande roll för hur det framtida landskapsmönstret kan se ut, eftersom planeringen kan ha varaktiga och betydande effekter på vegetationsmönstret. Därmed kan de taktiska planerna hjälpa ledningen eller skogsägaren att förstå detta

framtida scenario. Ett av syftena med att utföra en taktisk planering är att analysera den sammantagna effekten av förvaltningens aktiviteter. De värden som inte har ett virkesvärde är svåra att hantera i en taktisk plan. Sådana värden kan utgöras av frågor rörande vattenkvalitet, estetiska- och rekreations värden samt aspekter kring djurlivet inom vissa livsmiljöer. De slutliga effekterna och frågorna som är associerade till införandet av de planerade förvaltningsaktiviteterna kvarstår till nästa planeringsnivå som utgörs av den operativa planeringen.

De vanligaste målsättningarna med den taktiska planen är att maximera nettonuvärde, kassaflöde, nettoomsättningen och att erhålla ett jämnt virkesflöde samt att minska nedgången av habitatskvaliteter och andra ekologiska värden. De begränsningar som finns vid utformandet av den taktiska planeringen utgörs vanligtvis av lokaliseringen och tidpunkten för en viss typ av aktivitet, habitatsutveckling, budgetfrågor, virkesflödet samt markens omfattning som är avsedd för skogsskötsel. Resultaten av den taktiska planeringen mäts bland annat i intäkter, antalet habitat, virkesråvaror, vattenkvalitet, rekreationsmöjligheter och hur mycket kol som lagras. En del av dessa mätningar diskuteras i samråd med markägare och en högre uppsatt företagsledning, och en del mätningar föreslås via förordningar eller riktlinjer från olika certifieringssystem (Bettinger et al., 2009).

Operativ plan

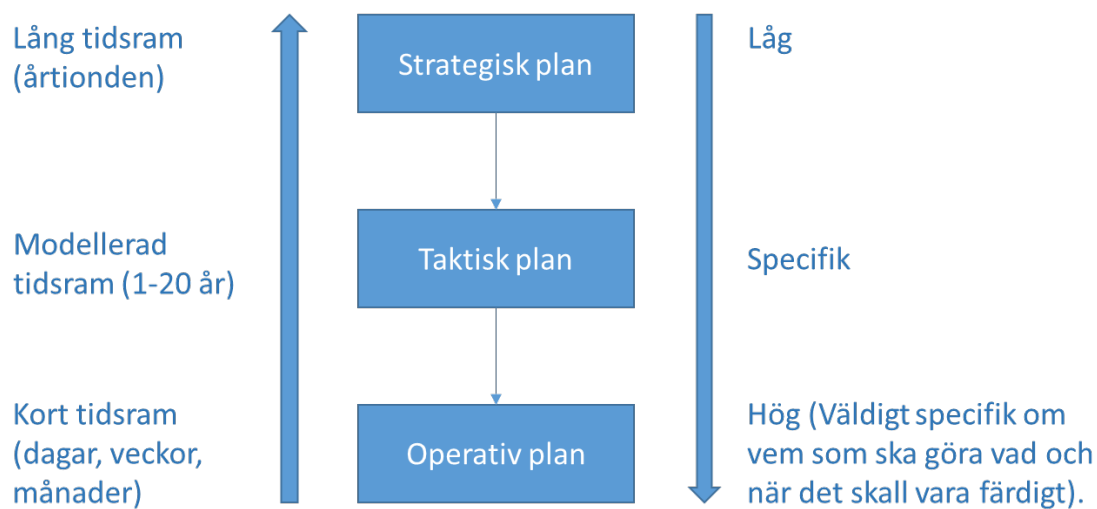
Den operativa planen anger en mycket specifik riktning för aktiviteterna och den resursallokeringen som behövs för att kunna uppnå de högre planeringsnivåernas mål (figur 1). Den operativa planen kan innefatta daglig, veckovis eller månadsvis budgetering, resursfördelning samt projektspecifika logistklösningar. Likt den taktiska planen innehåller även den operativa planen en spatial och tydlig information. Till skillnad från den taktiska planen som inte leder till att en avverkningsaktivitet verkligen genomförs, den enbart anger var och när avverkningsaktiviteten skall utföras, anger den operativa planen hur den bestämda avverkningsaktiviteten skall utföras. Tydliga exempel på aktiviteter som faller in under den operativa planen är byggande av skogsbilvägar och basvägar för skogsmaskiner samt schemaläggning för dessa vägbyggnationer (Bettinger et al., 2009). En basväg är en huvudväg för utforsling av virke med skogsmaskin från skog till bilväg (Sundberg, 2015). Den operativa planen behandlar vanligtvis aktiviteter som har ett tidsspann som är kortare än ett år och det är viktigt att tidpunkten för aktivitetens start infaller inom det aktuella året.

Exempel på beslut som fattas inom den operativa planen rörande avverkningar kan vara optimala apteringsbeslut, lokalisering av skogsmaskiner och skogsmaskinförare, beslut om primära transportvägar av virke från skog till avlägg samt beslut om sekundära transportvägar av virke från avlägg till mottagning. Det operativa planerandet kan även utvidgas till att innefatta flera olika aktiviteter så som lokalisering och tidpunkt för röjning, plantering av trädplantor samt för särskilda resurser med syftet att skapa speciella livsmiljöer för djurliv. En annan aktivitet som det operativa planerandet kan innefatta är optimala beslutssystem för transporter.

Heuristiska metoder är vanligast att använda för att lösa problem som kan uppstå under skapandet av den operativa planen (Bettinger et al., 2009). Heuristiska metoder eller algoritmer skapas för att finna en bra lösning inom en rimlig tid för storskaliga problem, som exempelvis problem rörande försörjningskedjor. Heuristiska metoder är således en

snabb metod för att finna en lösning på ett problem, men metoden ger inte optimala eller exakta lösningar. Om målet istället skulle ha varit att finna en optimal lösning för sådana storskaliga problem skulle det tagit orimligt lång tid. Även om heuristiska algoritmer inte kan ge en optimal lösning, kan de ge en bra lösning inom en rimlig tid som beslutsfattare kan hänvisa till vid lösningar av storskaliga problem (Jung Woo & Young Hae, 2010). Förutom heuristiska metoder har det visat sig att även linjära och dynamiska programmeringar är användbara stödverktyg för planeringsnivån. Utöver dessa hjälpande stödverktyg används även kostnads-nyttoanalyser, den interna avkastningen och andra ekonomiska kriterier för att utvärdera de olika förvaltningsaktiviteterna gentemot varandra (Bettinger et al., 2009).

De vanligaste målsättningarna med den operativa planen är att minimera kostnader, fastställa optimala transport- och skotningsvägar, maximera nettonuvärdet samt att minska degraderingen av habitatkvaliteter och andra ekologiska värden. Vid utförandet av den operativa planen finns en del faktorer som begränsar planerandet, så som budget, virkesflöde, logistiska begränsningar samt lokalisering och tidpunkt för skogskötselaktiviteter och habitatsutveckling. Resultatet av den operativa planeringen mäts i intäkter, handelsvaror, habitatkvalitet och andra naturvärden. På samma sätt som för den taktiska planeringen kommer vissa av dessa mätningar att diskuteras i samråd med högre uppsatta chefer och markägare, medan andra mätningar kan föreslås via olika föreskrifter eller av riktlinjer från olika certifieringssystem (Bettinger et al., 2009).



Figur 1. Skillnader mellan de tre skogliga planeringsnivåerna och deras tidsram (vänstra spalten) och hur specifik information är (högra spalten) (Bettinger et al., 2009).

Figure 1. Differences between the three forest planning levels and their timeframe (left column) and how specific information is (right column) (Bettinger et al., 2009).

1.2 Försörjningskedja

En försörjningskedja (Supply chain) är ett nätverk som består av råvaruleverantörer, produktionsanläggningar och transportföretag som samarbetar över organisationsgränserna för att leverera produkter till kunderna. I skogliga virkesförsörjningskedjor är markägaren den huvudsakliga leverantören av virkesråvara. Den kontrakterade skogsmaskinentreprenören ansvarar för avverkning och apteringen av träd till stockar och

transporterar stockarna från skog till avlägg. I nästa steg transporterar kontrakterade åkerier virket från avlägg till olika mottagande industrier. Det finns olika typer av mottagande industrier inom den skogliga virkesförsörjningskedjan som bearbetar virkesråvaran och tillverkar träprodukter, papper och kemikaliska produkter. Slutligen transporteras de färdigställda produkterna från industrierna till kunderna eller slutanvändarna. Många delar av den skogliga virkesförsörjningskedjan kan återfinnas i strategiska, taktiska och operativa planer för skogsbruk (Bettinger et al., 2009).

Skogliga virkesförsörjningskedjan

Den skogliga virkesförsörjningskedjan (Forest supply chain) är i verkligheten bredare i sitt utförande och tar hänsyn till fler aspekter än vad som redan beskrivits. Den kan innehålla ytterligare ett flertal steg som krävs för att tillverka en produkt. Planeringsprocessen av den skogliga virkesförsörjningskedjan begränsas av både ekonomiska och miljömässiga aspekter. Det finns ett starkt samband mellan framgång och hur mycket hänsyn som tas till ekonomiska, miljömässiga och sociala aspekter. Generellt kan virkesförsörjningskedjor klassas som antingen centraliserade, vilket innebär att alla beslut fattas av en enda beslutsfattande organisation, eller som decentraliserade, där varje steg inom försörjningskedjan involverar en eller flera olika beslutsfattande organisationer. Virkesförsörjningskedjor kan även karaktäriseras av att vara antingen ett ”tryck”- eller ett ”drag”-system, vilka även kan kallas för ”push” och ”pull” system. I ”tryck”-systemen ligger betoningen på produktionen, där lagret som skapats av tillverkaren säljs främst genom marknadsföring till slutkunden. I ett ”drag”-system är kundernas efterfrågan och önskemål i fokus och det används för att ”dra” produkterna genom tillverkningsprocessen. Exempelvis används ett ”drag”-system när en speciell order är efterfrågad av en kund. Virkesförsörjningskedjor som består av ett flertal steg, har kontrakterat organisationer och entreprenörer i varje steg ända ner till den ursprungliga källan av materialet. Generellt ökar effektiviteten inom virkesförsörjningskedjan om konkurrensen av materialkällor ökar. Hur stor förbättringspotentialen är beror på systemets struktur, antal konkurrenter samt hur utvecklat samarbetet är mellan deltagande aktörer. Deltagande aktörer inom en typisk skoglig virkesförsörjningskedja är markägare, förening eller företag, skogsmaskinentreprenör, virkesterminal, industri samt andra verksamheter som använder biprodukter som uppstår vid bearbetning av virkesråvaran. Virkesförsörjningskedjor är långt ifrån perfekta, och många gånger är de ineffektiva. Det har visat sig att när beslut skall fattas kan samarbete mellan olika organisationer inom virkesförsörjningskedjan signifikant minska kostnaderna och öka effektiviteten genom hela kedjan.

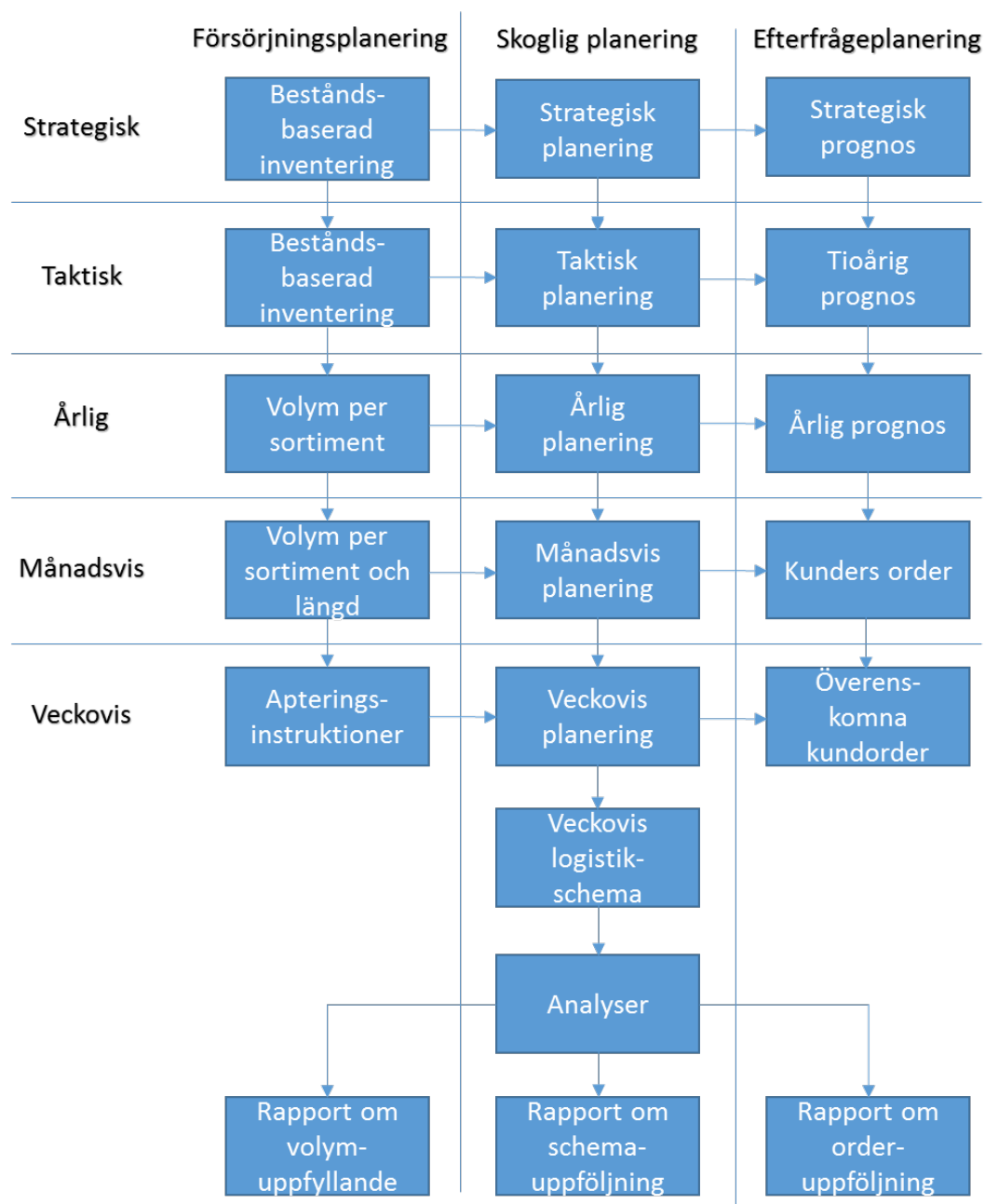
Den skogsindustriella virkesförsörjningskedjan skiljer sig från de flesta producerande branscher genom att de mindre slutprodukterna har framställts från ett större ämne, ett träd. Inom andra industriella branscher har produkterna sammanställts av ett flertal mindre delar till en större produkt. Detta medför att en enskild efterfråga av en virkes-, trä- eller pappersprodukt inom den skogsindustriella branschen leder till att ett flertal olika biprodukter framställs samtidigt. Av den anledningen måste den skogliga virkesförsörjningskedjan inte bara ta hänsyn till den primära kunden av den efterfrågade produkten, utan även för leverans av biprodukter till andra kunder. Detta resulterar i att den skogliga virkesförsörjningskedjan består av både ett ”tryck”- och ”drag”-system, då virkesförsörjningskedjan är driven av både kundefterfrågan och produktion medan andra försörjningskedjor oftast kan fokusera på antingen kundefterfrågan eller produktion (Bettinger et al., 2009).

Funktioner inom den skogliga virkesförsörjningskedjan

För att öka effektiviteten har vissa virkesförsörjningskedjor utvecklats till att likna ett vertikalt samordnat företag där alla involverade aktörer kan samarbeta över organisationsgränserna. En sådan virkesförsörjningskedja förbättrar lönsamheten för samtliga involverade organisationer.

En klassisk försörjningskedja kan innehålla fem olika funktioner som innefattar datainsamling, uppskattning av efterfrågan, planering, utförande och rapportering. Trots att en av funktionerna är benämnd som planering, existerar olika faser av planering i alla övriga funktioner, från den högsta strategiska planeringsnivån till den lägsta och tidskritiska operativa planeringsnivån (figur 2) (Bettinger et al., 2009). Enligt Bettinger et al. (2009) är de fem funktionerna inom virkesförsörjningskedjan följande:

1. *Försörjningsförvaltning.* Inom den här funktionen sker en förvaltning av vad som finns tillgängligt samt de potentiella inköpen av råvaror från alla tillgängliga källor. Exempel på källor är det egna skogsinnehavet, de långsiktiga avverkningsavtalen, den kortsiktiga virkesförsäljningen eller av virke som levererats av externa markägare. Datakällan för funktionen består mestadels av inventeringsdata från de egna skogarna, samt av prognoser från tillväxt- och avkastningsanalyser.
2. *Planering och schemaläggning.* Inom den här funktionen sker en utveckling av den strategiska-, taktiska- och operativa planen som är utformad för förvaltnings-, avverknings- och transportaktiviteter. Den här funktionen medför även att logistiska frågor som uppkommer när virkesförsörjningen skall anpassas efter virkesefterfrågan samordnas. Syftet med detta är att möta och uppfylla kundens efterfråga och återförsäljarens önskade lagernivåer.
3. *Efterfrågestyrning.* Inom den här funktionen sker en utveckling av försäljningsprognoser till kunder, genom att utvärdera kundernas beställningar. Även prisrelaterad information hanteras inom den här funktionen.
4. *Utförande.* Inom den här funktionen sker en implementering av handlingsplaner. Även en del uppföljning av avverknings- och transportprocessen kan ske som är nödvändig för att upprätthålla Chain of Custody (CoC), som är en spårbarhetscertifiering. Syftet med Chain of Custody är att säkerställa för kunderna att de skogsprodukter de köper kommer från certifierade skogar. Chain of Custody är även till för att visa vem som äger det avverkade virket för att minska illegal handel av skördade virkesprodukter. Även logistisk schemaläggning ingår i funktionen, med syftet att optimera transportresurserna samt bibehålla den dokumentering som krävs för en Chain of Custody-certifiering.
5. *Kunskapsinsamling och rapportering.* Inom den här funktionen sker en datainsamling över prestandan i virkesförsörjningskedjan. Den information som framkommer av datainsamlingen gör att en organisation kan analysera och ge rekommendationer för förbättringar genom hela virkesförsörjningskedjans system.



Figur 2. Virkesförsörjningskedjans planeringsprocess för skogsprodukter (Bettinger et al., 2009).
Figure 2. Wood supply chain planning process of forest products (Bettinger et al., 2009).

1.3 Likheter mellan den skogliga virkesförsörjningskedjan och skoglig planering

De fem funktionerna inom virkesförsörjningskedjan är integrerade i den strategiska, taktiska, och operativa planeringen av skogsbruket (Bettinger et al., 2009).

Strategisk planering inom den skogliga virkesförsörjningskedjan

En strategisk plan för statligt ägd mark utformas oftast var femte till femtonde år, medan en strategisk plan för ett skogligt företag genomförs varje eller vartannat år. Det

huvudsakliga syftet med en strategisk plan är att utforma en långsiktig vision som tydliggör hur företaget kan konkurrera på aktuella och framtida marknader.

Taktisk planering inom den skogliga virkesförsörjningskedjan

Den taktiska planeringen är något mer högupplöst än den strategiska planeringen vad avser detaljeringsgraden, och den utformas oftast varje eller vartannat år. Det är inom den taktiska planeringsnivån som kombinerade avverknings- och transportbeslut fattas, samt beslut om förverkligande av viktiga effektiviseringar för transportsystemens ekonomi. I Sverige kan vägar enbart byggas under sommarhalvåret, då marken inte är frusen. Vägarna i Sverige är olika mycket användbara, där vissa vägar är användbara året om medan andra vägar enbart går att använda under vintertid då marken är frusen. Detta innebär att förvaltaren av skogen har begränsade möjligheter att ändra sin planering av skogsbruket eftersom merparten av skötselåtgärderna är beroende av tillgängligheten till olika geografiska områden. Till följd av detta får många skogliga virkesförsörjningskedjor en minskad kortsiktig flexibilitet vad avser tillgänglighet till vissa skogsbestånd, eftersom vägförhållandena innebär att förändringar i planeringen kan kräva lång tid. Av dessa anledningar är det aktuella vägsystemet den faktor som har störst påverkan för var en förvaltare eller markägare kan välja att avverka. För att den taktiska planeringen bättre skall avspegla förvaltningens möjligheter och svårigheter, kan avverkning- och transportkapaciteten tas med i planeringen. De antaganden som görs för användandet av dessa system är pålitliga för den närmaste tiden, eftersom möjligheterna att snabbt ändra planeringen för dessa är begränsade då stora förändringar kan kräva att nya utrustningar måste införskaffas.

Typiska resultat från taktiska planeringar kan vara en beståndsvis uppdelning med tillhörande information om vilken typ av skötselåtgärd som varje bestånd skall behandlas med, samt vilka avverkningsmaskiner som bör användas om beståndet är moget för gallringsavverkning eller slutavverkning. Ett annat vanligt utfall av taktiska planeringar är en bestämmelse för vilka vägprojekt som ska vara klara innan årets slut. Dessutom kan förvaltaren med hjälp av utfallet från den taktiska planeringen bekräfta huruvida det prognosticerade virkesflödet, som utformades inom den strategiska planeringen, kommer finnas tillgängligt för produktionsanläggningarna. Därmed kan förvaltaren förstå vilken sammansättning av olika skogsbestånd som behövs för att försörja produktionsprocessen. Avverkningsentreprenörer får dessutom möjlighet att på bästa sätt fördela rätt maskinutrustning till rätt bestånd utifrån skogsbeståndens förhållande. Även virkesbiltransporternas kapacitet kan anpassas efter de specifika behov av virkesvolymen som finns och de existerande transportavstånden. Av dessa anledningar kan resultatet av den taktiska planeringen innebära vissa effektiviseringar för den operativa delen av virkesförsörjningssystemen (Bettinger et al., 2009).

Operativ planering inom den skogliga virkesförsörjningskedjan

En organisation kan utforma och använda ett flertal operativa planer, vilka kan omfatta vecko-, månads- eller årsvisa planeringar. Till skillnad från de taktiska planerna där simulerade besättningar med genomsnittliga produktionshastigheter används, är de operativa planerna mer precisa eftersom de använder produktions- och kostnadsberäkningar för specifika besättningar och arbetslag. En annan skillnad är att de operativa planerna tillvaratar viss kunskap från de entreprenörer som organisationen har kontrakterat. Det är även inom den operativa planeringen som de kontrakterade entreprenörerna kan visa att de använt den information som de fått från den taktiska

planen, för att på så sätt bli konkurrenskraftiga på den marknad som de är verksamma. De uppgifter om skogen och dess struktur som används i de operativa planerna kommer vanligtvis från skogsinventeringar som är utförda under tidigare år. Dessa uppgifter är detaljerade och medför att den operativa planen har en hög detaljeringsgrad, vilket sedan används som stöd vid beslut för vägbyggnad, underhållsprojekt samt för att tilldela skogsmaskinlag bestånd att avverka. Inom de operativa planerna fastställs även när de olika besättningarna förväntas vara klara med sina uppgifter för att uppfylla förvaltningens eller virkesförsörjningskedjans mål, samt för att virkesterminalerna och industrierna varken skall få för lite eller för mycket virkesvolym. De operativa planerna bör vara utformade för att säkerställa att de åtgärder som föreslagits inom den taktiska planeringen verkligen utförs och färdigställs. Av dessa anledningar har begränsningar införts i den operativa planen som medför att resultaten överensstämmer med de strategiska- och taktiska planernas mål (Bettinger et al., 2009).

Utfallet från typiska operativa planer kan innehålla följande (Bettinger et al., 2009):

- Veckovisa leveransscheman för virkesvolym till kunder
- Instruktioner för arbetslag och avverkningsuppdrag
- Uppskattad virkesvolym att införskaffa per vecka

1.4 Optimeringslära

Ordet optimering härstammar från latinets ”optimus” och betyder ”det bästa”. Optimeringslära kan därför sägas betyda läran om att göra det bästa, eller att göra något så bra som möjligt. Optimeringslära utgör en gren av den tillämpade matematiken som innebär att matematiska modeller och metoder används för att finna det bästa handlingsalternativet i olika beslutsfattande situationer. Optimeringsmodeller används huvudsakligen för att beskriva och analysera ekonomiska och tekniska beslutsproblem, vars syfte är att finna potentiella lösningar till problemet.

För att nyttja optimeringsmodeller är en förutsättning att det finns något i problemställningen som kan varieras, vilket definieras som problemets *variabler*. Begränsningarna av variabelernas värden anges av ett antal *bivillkor*. Inom optimeringsmodellen skall även ett mål definieras i en *målfunktion* som har sin grund i variablerna. Målfunktionen kan antingen maximeras eller minimeras. Att optimera innebär därför att bestämma bästa möjliga värden på variablerna under förutsättning av det mål som är angivet.

Ett annat villkor för att använda optimeringsmodeller är att målen och begränsningarna kan formuleras i matematiska funktioner och relationer. För att ett behov av att använda en optimeringsmodell skall finnas antas att antalet beslutsalternativ är stort inom problemställningen samt att det av den anledningen krävs speciella algoritmer, dvs. optimeringslösningar, och datorstödd hjälp för att finna den bästa lösningen.

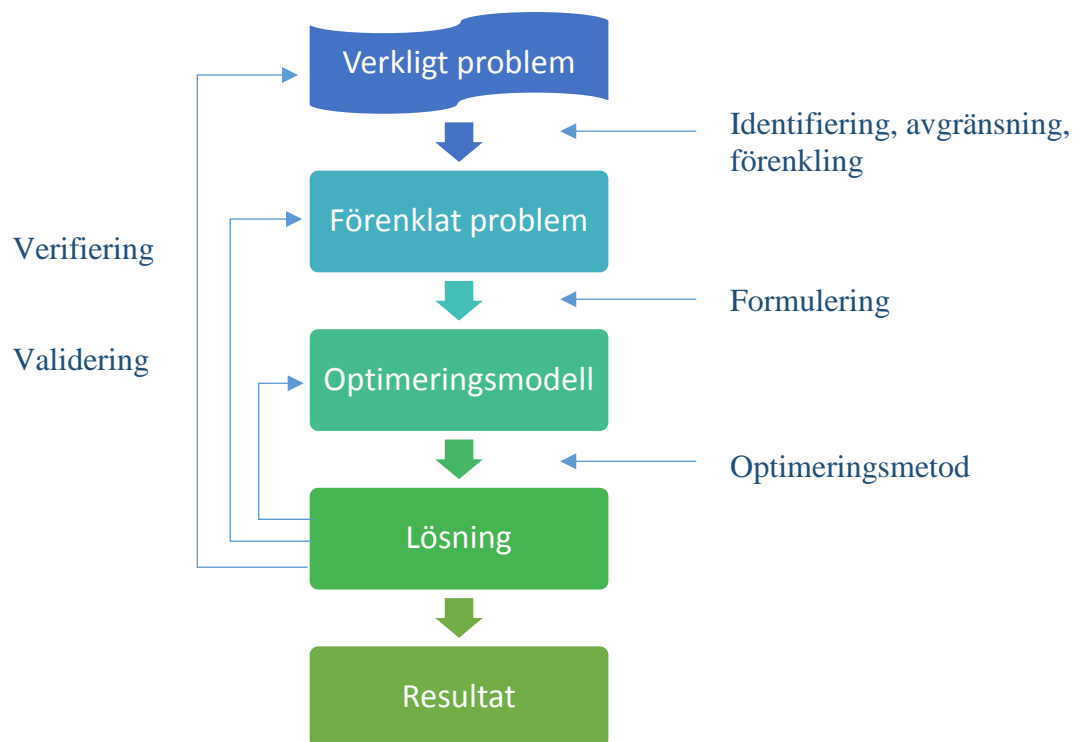
Idag har optimeringslära brett ut sig och används i stor omfattning inom tekniska och ekonomiska tillämpningsområden, där optimeringsmodeller används som analysverktyg för alla planeringsnivåer så som operativ, taktisk och strategisk planering. För att tillämpningen av optimeringsmodellen skall lyckas behövs både kunskap om tillämpningsområdet samt kunskap i matematik och datalogi. Detta gör att optimeringslära

anses vara ett tvärvetenskapligt område. Utvecklingen för optimeringslära har ett nära samband med dataområdets utveckling. Detta beror till stor del på att optimeringstillämpningarna ofta ger enorma modeller och datamängder, vilket är omöjligt att analysera och lösa utan datorresurser. På senaste tiden har förmågan att lösa stora och komplicerade optimeringsproblem utvecklats oerhört, dels på grund av datorernas ökade prestanda men framförallt till följd av den metodutveckling inom optimeringsområdet som skett (Lundgren et al. 2003).

Optimeringsprocess

När optimeringsmodeller utformas för att analysera eller lösa ett problem används en speciell metodik som arbetet utgår ifrån. Denna metodik kallas optimeringsprocess och innehåller ett antal olika moment (figur 3).

Allra först identifieras optimeringsproblemet inom den verkliga problemformuleringen. Sedan formuleras problemet i matematiska termer i form av en optimeringsmodell. I nästa steg är syftet att lösa problemet genom en optimeringsmetod. I det sista steget utvärderas modellen och resultatet. Varje moments omfattning varierar till följd av problemformuleringens omfång, struktur och komplexitet, och kan därför medföra att de olika momenten kan utföras parallellt med varandra.



Figur 3. Schematisk bild av optimeringsprocessen (Lundgren et al. 2003).

Figure 3. Schematic representation of the optimization process (Lundgren et al. 2003).

Verkligt problem utgör den problemformulering som ska analyseras och detta symboliseras av en asymmetrisk ruta eftersom det verkliga problemet ofta är komplext och svårt att greppa. Av det komplexa problemet finns ofta ett antal faktorer som av olika orsaker inte kan tas med i en optimeringsmodell. Av den anledningen bör det identifieras vad som är

det viktiga i problemformuleringen, vad som kan försummas samt vilken ambitionsnivå som skall eftersträvas och göra relevanta avgränsningar och förenklingar. Inom detta moment tillhör även att analysera om problemformulering är lämplig att analyseras via en optimeringsmodell eller om det finns andra metoder som är mer lämpliga eller om det behöver kompletteras med ytterligare angreppssätt. För att kunna implementera optimeringsmodeller på problemformuleringen krävs det att de viktigaste faktorerna i problemformuleringen kan kvantifieras. Den identifiering och avgränsning av det verkliga problemet som utförts anges sedan som *Förenklat problem*.

Det förenklade problemet skall i nästa steg beskrivas och formuleras matematiskt i termer av variabler, målfunktion och bivillkor som en *Optimeringsmodell*. Inom detta moment kan även en del förenklingar behöva utföras. Det viktiga inom detta moment är att formulera en modell som både ger en rättvis beskrivning av problemet och som samtidigt är lösbar. Utöver detta bör även hänsyn tas till vilka data som är tillgängliga och möjliga att samla in, samt till det insamlade datats tillförlitlighet.

Under nästa steg i processen skall en optimeringsmetod tillämpas för att lösa modellen. För det mesta räcker det med att använda kommersiella programvaror, men vid mer komplicerade optimeringsmodeller kan en ny programvara behöva utvecklas som är specifikt anpassad för den aktuella tillämpningen. Modellen genererar sedan en *Lösning* som utvärderas och omsätts till beslutsunderlag. Inom detta moment verifieras om lösningen är korrekt utifrån den modell som utformats samt hur väl modellen representerar det problem som skall analyseras. Det är även vanligt att olika varianter av känslighetsanalyser utförs under detta moment. Efter denna genomgång uppnås ett *Resultat* från optimeringsprocessen (Lundgren et al. 2003).

Heltalsproblem

Ett optimeringsproblem formuleras i egenskaper av en *målfunktion* som kan maximeras eller minimeras och som beror av *variablerna*, samt av *bivillkor* som anger de tillåtna lösningarna av problemet. Beroende på hur funktionerna specificeras och vilka tillåtna värden variablerna får anta erhålls olika problemklasser. Beroende på funktionernas utseende och problemets beskaffenhet kan ett flertal olika problemklasser fastställas. En av dessa problemklasser är ett *Linjärprogrammeringsproblem* (LP-problem), vilket infaller om alla funktionerna är linjära, samt om alla variabler är kontinuerliga (kan anta fraktionella värden). En annan problemklass är ett *ickelinjärt problem*, vilket inträffar om minst en av funktionerna är en icke linjär funktion samt om alla variabler är kontinuerliga. Problemklassen *heltalsproblem* definieras och inträffar om minst en delmängd av variablerna är definierad som *diskreta variabler*. Exempelvis kan de vara definierade att enbart kunna anta heltaliga värden, så som 1,2,3 osv., eller som *binära variabler* vilket innebär att variablerna enbart kan anta värdet 0 eller 1. Vanligen är problemet dessutom formulerat med enbart linjära funktioner och då utgörs problemklassen av ett *linjärt heltalsproblem*.

En del problem kan även beskrivas som ett nätverk uppbyggda av noder och bågar, och formuleras då som ett *nätverksproblem*. Denna form av nätverksstruktur kan användas vid lösning av problemen. En del nätverksproblem kan även användas som en likvärdig LP-formulering, som exempelvis vid minkostnadsflödesproblem eller billigaste väg-problem. Andra nätverksproblem som innehåller binära variabler klassas som ett heltalsproblem och kallas stundtals för *kombinatorisk optimering* (Lundgren et al. 2003).

1.5 Optimeringssystem

Inom skogsbruket handlar planeringen av transportverksamheten mestadels om flödet från försörjningspunkter inom avverkningsområden till efterfrågepunkter hos industrier, så som massa-, pappers- och sågverksindustrier. Transportverksamheten utgör en viktig del inom virkesförsörjningen och den skogliga virkesförsörjningskedjan. Förvaltningen av transportverksamheten delas ofta in i tre olika planeringsnivåer: strategisk, taktisk och operativ. De strategiska besluten handlar oftast om att justera kapaciteten eller organiseringen inom transportverksamheten för att anpassa verksamheten efter de förändringar som uppstår i produktion och efterfrågan. En sådan justering kan innebära att en ny virkesterminal anläggs om behov finns. Den taktiska planeringen har en kortare tidsram som motsvarar ett par månader till ett år. Exempel på taktiska beslut kan vara att etablera nya upptagningsområden eller nya potentiella returtransportsrutter. Den operativa planeringen består av att lösa och hantera problem inom ett fåtal timmar upp till några veckor. Exempelvis kan det innebära att planera nästa veckas arbetsschema för en individuell virkesbilsförare (Forsberg et al. 2005).

Inom svenskt skogsbruk är transportplaneringen decentraliserad och utförs mestadels manuellt. Transportverksamheten inom skogliga företag planeras på regionnivå av oberoende transportledare. Transportverksamheten inom regionerna utförs även oberoende av de andra regionernas transportverksamhet. Detta leder till att det uppstår brister i samordning av transporter, minskad möjlighet till omdirigering av flöden, brister i integrering mellan virkesbil och tåg samt att det försvårar möjligheten för returtransporter. För att komma runt problemen, och underlätta för en effektiv planering kan stödjande optimeringssystem användas. Det har visat sig att i de fall där optimeringssystem använts finns en besparingspotential av kostnaderna mellan 5 till 10 procent med hjälp av en bättre transportplanering. Dessa besparingar erhålls genom bättre matchning mellan försörjningspunkter och efterfrågepunkter, ett mer anpassat upptagningsområde, mer användning av returmöjligheter samt bättre samordning av transporter mellan regioner och företag (Forsberg et al. 2005).

Det är ett tidskrävande arbete att utföra dessa optimeringsstudier på egen hand eftersom det kräver flera steg av bearbetning med hjälp av datoriserade mjukvaror. Dessutom krävs mycket manuellt arbete för att inhämta och ajourhålla det data som behövs för optimeringsstudien. Det är även svårt att bedöma datauppgifternas noggrannhet och om det finns felaktigheter. Av dessa anledningar är det svårt för transportledare och logistikchefer att utföra egna optimeringsstudier i praktiken. Under åren 2002 till 2004 utfördes ett gemensamt forsknings- och utvecklingsprojekt för att utveckla ett optimeringssystem som heter FlowOpt. Det fanns huvudsakligen tre syften med projektet, där det första syftet var att utforma ett system som möjliggjorde en integrerad planering mellan lastbilar och tågssystem samt att förbättra och möjliggöra för samarbete mellan olika företag. Ett annat syfte var att implementera nya förbättrade informationssystem som skulle minska tidsåtgången för lösningar och analyser som slutligen skulle generera resultat som är användbara, så som specifika kartor för fallstudier. Det sista syftet med projektet var att utveckla ett system som kan användas av chefer eller andra anställda som arbetar med transportverksamheten inom skogliga företag, antingen som en helhet eller delar av systemet. Utvecklingen av FlowOpt är resultatet av ett samarbete mellan Skogforsk Sverige, Linköpings Universitet, Svenska byrån för innovationssystem, mjukvaruföretaget

Optimal Solutions, Dianthus samt de stora skogsbolagen: SCA, Stora Enso, Södra Skogsägarna, Holmen Skog och Sveaskog (Forsberg et al. 2005).

1.6 Transportoptimeringssystemet FlowOpt

FlowOpt är ett Transportoptimeringssystem som kan ge svar på en hel del frågor som rör logistik och transportlösningar för ett skogligt företag, som exempelvis vilket virke som ska levereras till vilken industri. FlowOpt fungerar som ett beslutsstöd för skogliga företag och har visat sig göra planerings- och analysarbetet för virkesflöden enklare och bättre (Frisk & Rönnqvist, 2005b). Resultat från tidigare studier visar på relativt stora förbättringspotentialer av logistikplaneringen genom att utnyttja optimeringsmodeller liknande FlowOpt som beslutsstöd (Skogforsk, 2006). Det finns även studier som visar att ett skogsföretag kan finna transportlösningar som ger de lägsta kostnaderna med FlowOpt som beslutsstöd. FlowOpt kan användas för allt från försörjning av enstaka industrier till landsomfattande industrikoncerner, och kan även användas för olika tidsskalor från en månad till flera år (Frisk & Rönnqvist, 2005b).

Syftet med en FlowOpt-analys är att via en optimering finna en lösning som ger den lägsta transportkostnaden utifrån de förutsättningar som getts. Resultatet ger sedan möjlighet att beräkna en del olika nyckeltal eller parametrar, exempelvis (Frisk & Rönnqvist, 2005b):

- Transportkostnader totalt, per industri, per företag osv.
- Kostnadsbesparingar
- Inbesparad tomkörning vid optimala returflöden
- Medeltransportavstånd
- Andel tomkörning
- Transporterade volymer
- Miljöeffekter
- Kapacitetsutnyttjande
- Bytesvolymer mellan företag

Det grundläggande och vanligaste användningsområdet för FlowOpt är destinerings, som ger svar på vilka virkestillgångar som ska levereras till vilken industri för att minska den totala transportkostnaden (Frisk & Rönnqvist, 2005b).

En virkesflödesanalys via FlowOpt utförs i fyra olika processteg, vilka är (Forsberg et al. 2005):

1. Datainsamling
2. Förberedning och anpassning av datamaterialet inför optimeringen
3. Utförande av optimeringen
4. Bearbetning och tolkning av resultaten samt skapande av en resultatrapport.

FlowOpt är uppbyggd som en central applikation som kräver viss indata och andra uppgifter för att utföra en optimering, och som slutligen genererar ett resultat i form av ett utdata (figur 4). Nedan följer en närmare beskrivning av FlowOpts uppbyggnad (Frisk & Rönnqvist, 2005b):

Indata

De indata som används i FlowOpt beror på uppgiftens karaktär. Några vanliga indata kan vara: Virkestillgångar (volym, sortiment och läge i form av koordinater), Industribehov (Industriernas läge i form av koordinater, virkesbehov, volym och sortiment), Transportkostnader (lastbil och kr/km) samt Terminaler (läge i form av koordinater och tillåtna maxvolym).

Vägdatabas

För beräkning av avstånd mellan exempelvis avlägg och mottagare används uppgifter från NVDB, den nationella vägdatabasen. NVDB innehåller uppgifter om alla vägar så som läge, standard, hastighetsbegränsningar, osv.

Central applikation

Inom den centrala applikationen finns delapplikationer som avstånd/vägval, datagenerering och kartor.

- Applikationen Avstånd/vägval räknar ut avståndet mellan tillgångar (avlägg) och mottagare för alla landsvägstransporter. Vägvalsfunktionen tar hänsyn till bärighet, funktionell vägklass, hastighetsbegränsning, vägbredd, osv. Beroende på analysens behov, finns möjlighet att anpassa vägnätets detaljeringsnivå efter önskemål.
- Applikationen Datagenerering anpassar data till optimeringsmodellen med hjälp databasen och avståndsberäkningen.
- Applikationen Kartor visar tillgångar, mottagare, terminaler och vägnät i ett kartgränssnitt. Kartan har även möjlighet att illustrera resultaten i form av streck för virkesflöden.

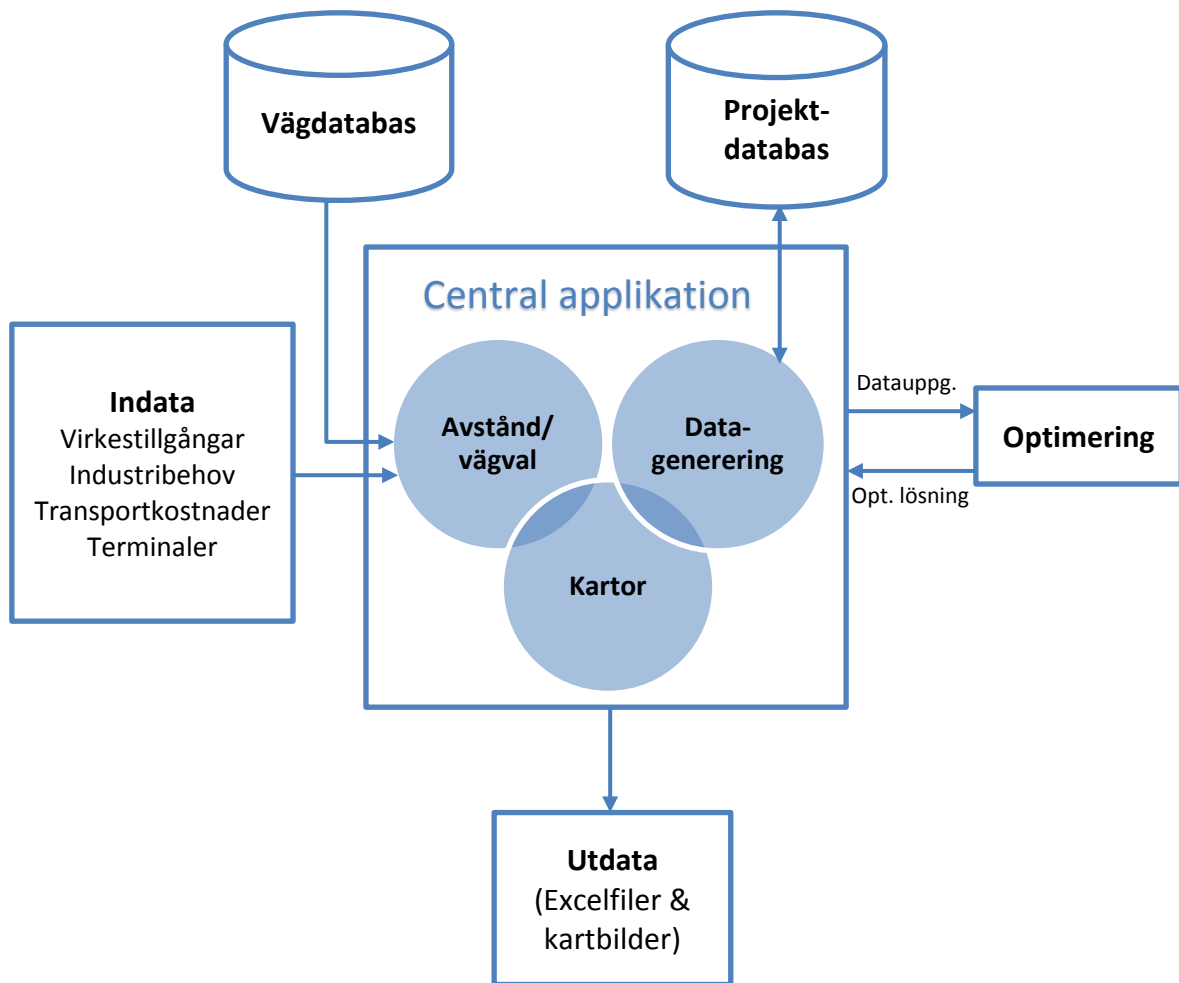
Optimering

I denna funktion förs de matematiska funktionerna över till ett externt beräkningsprogram som utför optimeringen med det erhållna indata.

Utdata

Här presenteras resultaten från optimeringen genom flöden som innehåller information om ursprung, mottagare, volym, sortiment, avstånd, kostnad, osv.

Av utdata kan sedan flöden visas i en kartbild. Andra beräkningar av exempelvis transportarbete, medeltransportavstånd, andel tomkörning och kostnader utförs i en databas eller i Excel.



Figur 4. Transportoptimeringssystemet FlowOpts uppbyggnad (Frisk & Rönnqvist, 2005b).

Figure 4. The construction of the transport optimization system FlowOpt (Frisk & Rönnqvist, 2005b).

1.7 SCA och SCA Skog AB

SCA är Europas största privata skogsägare med ett skogsinnehav om 2,6 miljoner hektar skogsmark, varav 2,0 miljoner hektar är produktiv skogsmark. SCA Skog AB förvaltar detta skogsinnehav inom norra Sverige och försörjer bolagets svenska industrier med virkesråvara från den egna skogen och genom virkesköp från privata skogsägare (SCA Skog AB, 2015). Utöver leverans till SCAs industrier levererar SCA Skog AB även virke till externa industrier inom Sverige samt bedriver en del byten med andra svenska skogsbolag och skogliga föreningar (Sakari 2015, pers. komm 2015-09-02). SCA Skog AB ingår i SCAs affärsenhet Forest Products som ansvarar för att producera tidskrifter, kataloger, tryckpapper för tidningar, förpackningspapper, massa, sågade trävaror, förnybar energi samt erbjuder kostnadseffektiva transportlösningar till SCAs enheter (SCA Skog AB, 2015).

SCA Skog AB består av en virkesanskaffningsenhet, två plantskolor och fem skogsförvaltningar: Norrbottens skogsförvaltning, Västerbottens skogsförvaltning, Medelpads skogsförvaltning, Ångermanlands skogsförvaltning samt Jämtlands skogsförvaltning (figur 5 och 6) (SCA Skog AB, 2015).



Figur 5. SCA Skogs fem skogsförvaltningar. Gränserna mellan förvaltningarna illustreras av röda linjer. De gröna skuggningarna inom kartan visar SCA Skogs skogsinnehav (SCA Skog AB, 2013).
Figure 5. SCA Skog's five forest districts. The boundaries between the districts are illustrated by red lines. The green shadings within the map shows the forest holdings of SCA Skog (SCA Skog AB, 2013).

SCA Skog AB som är en serviceorganisation har tre huvudmål med sin verksamhet. De huvudmål som företaget har är i prioritetsordning följande (Sakari 2015, pers. komm 2015-09-02):

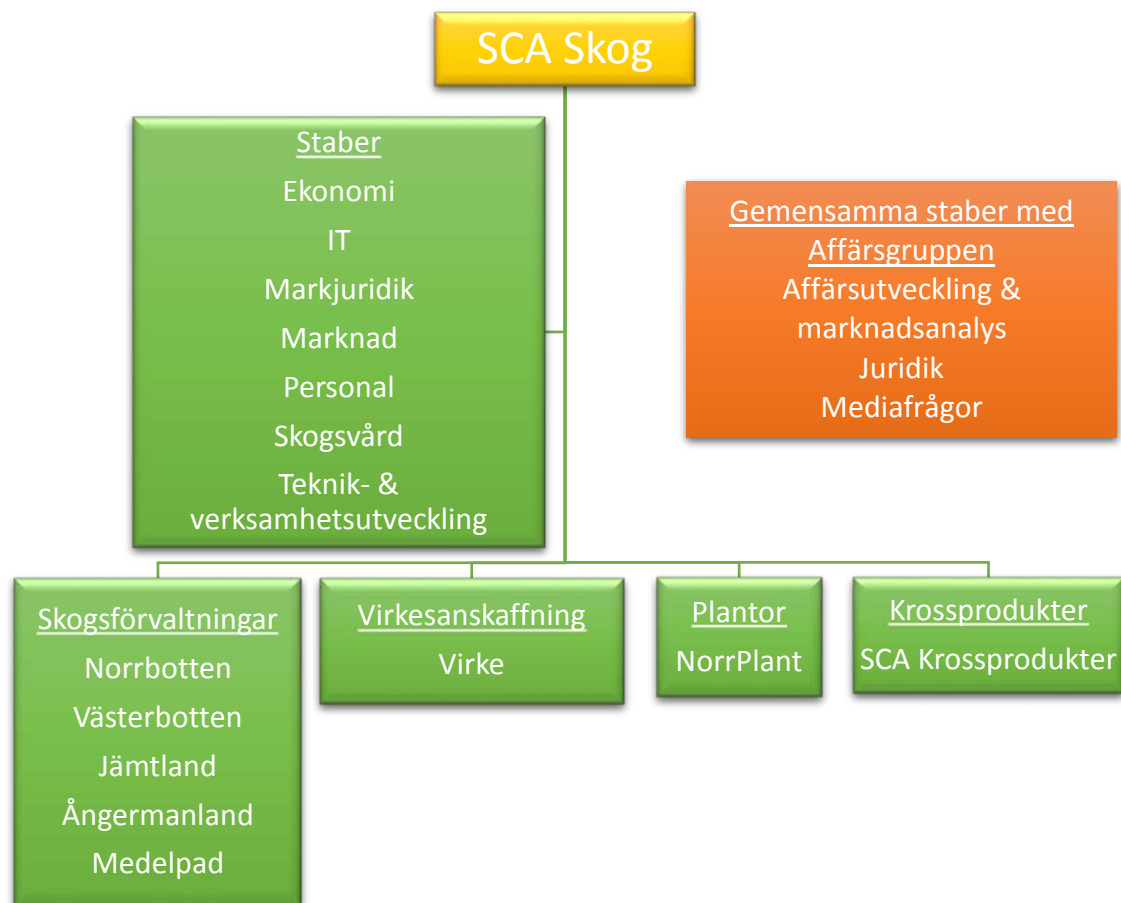
1. Att långsiktigt försörja SCAs svenska industrier med virkesråvara
2. Att utveckla och långsiktigt förvalta SCAs skogstillgångar samt bedriva ett FSC®- och PEFC™ certifierat skogsbruk
3. Att uppnå tillfredställande lönsamhet för SCAs industrier

SCA Skog ABs vision är att vara ledande inom hållbart och lönsamt skogsbruk och utgöra det självklara valet för privata skogsägare.

Inom SCA Skog AB finns en enhet som är ansvarig för virkesförsörjningen som heter Virke (figur 6). Virkesenheten är ansvarig för försörjningen till SCAs svenska industrier samt för alla flöden inom organisationen, så som virkes- och transportflöden. De fattar beslut om det behövs göras eventuella externa köp och byten med andra skogliga bolag eller föreningar. De fattar även de övergripande besluten om det finns ett behov av att styra

om flödena om det exempelvis visar sig uppstå ett underskott hos någon industri. Inom Virkesenheten återfinns bland annat virkeschef, logistikchef, kundförsörjningschef, affärschef, transportledare, flödesplanerare, m.fl. De flesta av virkesenhetens tjänstemän är stationerade i Sundsvall på SCA Skog ABs huvudkontor, men flera av transportledarna, flödesplanerarna och en del av cheferna har sina kontor på någon av skogsförvaltningarna (Sakari 2015, pers. komm 2015-09-02).

Inom Virkesenheten finns en underavdelning som heter Kundförsörjning, där Kundförsörjningschefen, Kundansvarig och två Flödesplanerare ingår. Flödesplanerarna ansvarar för transportflödena till mottagningarna, industri- och terminallager samt för byten av virkesvolymmer med externa företag. Den ena flödesplaneraren är ansvarig för flödena inom de nordligaste förvaltningarna vilka är Norrbottens- och Västerbottens skogsförvaltning samt av de nordligaste industri- och terminallagren. Den andra flödesplaneraren ansvarar för resterande förvaltningar som är Medelpads-, Ångermanlands- och Jämtlands skogsförvaltning samt av de mer sydliga industri- och terminallagren (Ölund 2015, pers. komm 2015-10-12).

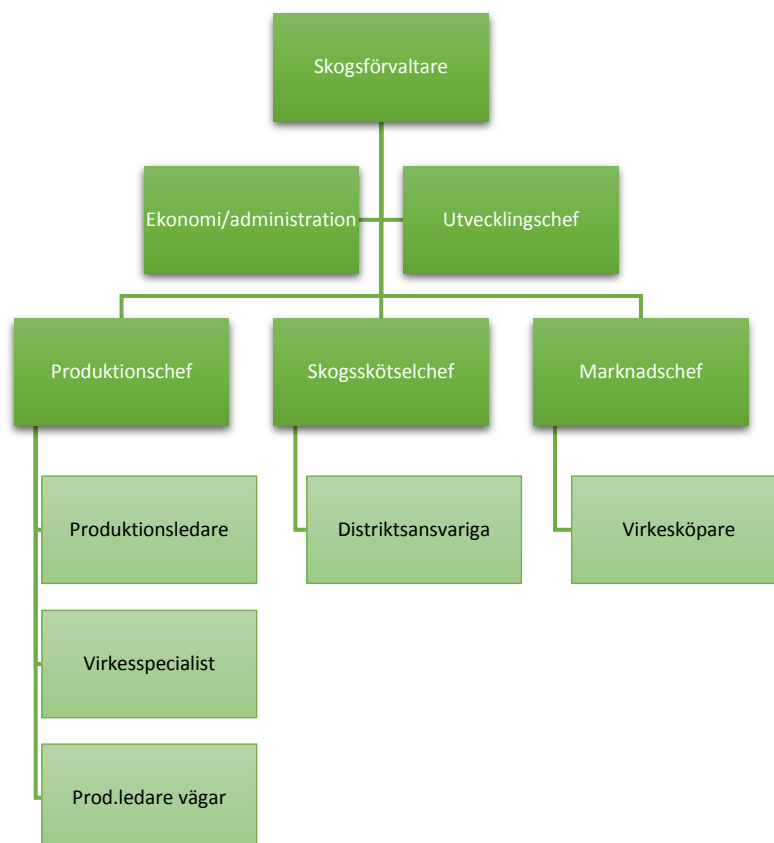


Figur 6. SCA Skog ABs organisation (SCA Skog AB, 2013).

Figure 6. The organization of SCA Skog (SCA Skog AB, 2013).

1.8 SCA Västerbottens skogsförvaltning

Västerbottens skogsförvaltning innehar 500 000 ha skogsmark av SCAs totala skogsinnehav, varav 360 000 ha är produktiv skogsmark. Årligen avverkas cirka 545 000 skogskubikmeter (m³sk) av SCAs egna skogsinnehav inom Västerbottens skogsförvaltning, varav 85 000 m³sk är gallringsavverkning och 11 000 m³sk är alternativa huggningsmetoder som exempelvis blädning och naturvårdshuggning. Förvaltningen avverkar även cirka 500 000 m³sk årligen genom köp av privata skogsägare, varav cirka 20 procent utgörs av gallringsavverkning. Ambitionen hos Västerbottens skogsförvaltning är att öka avverkningsgraderna av köpta slutavverkningar och gallringsavverkningar till cirka 800 000 m³sk per år. Produktionsfunktionen inom Västerbottens skogsförvaltning består av en produktionschef, en virkesspecialist, fem produktionsledare utöver en produktionsledare som är ansvarig för SCA Skog ABs egna avverkningslag, samt en skoglig fältassistent (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23). I figur 7 skådas organisationsformens generella utseende för respektive skogsförvaltning inom SCA Skog AB.



Figur 7. Organisation vid SCAs skogsförvaltningar (SCA Skog AB, 2013).

Figure 7. Organisation at SCA's forest districts (SCA Skog AB, 2013).

Flödesområde

Förvaltningen är indelad i fyra geografiska flödesområden, vilka är Kusten, Åsele, Lycksele samt Vilhelmina. Varje flödesområde har 1-2 tjänster som produktionsledare, 2 tjänster som distriktsansvarig, samt 1-5 tjänster som virkesköpare. Avverkningslagen inom flödesområdena utgörs enbart av entreprenörer förutom Åsele och Lycksele flödesområde som även har 3 respektive 2 avverkningslag som ägs av SCA Skog AB. Flödesområdena

har olika stora geografiska områden samt olika egenskaper och bärighetsförutsättningar. Lycksele flödesområde är det största geografiska området och täcker in Lycksele, Norsjö, Malå, Sorsele och Storuman kommuner. Inom Lycksele flödesområde finns mestadels talltrakter med god bärighet vilket gör att avverkningarna ofta styrs till detta område under sommar, vår och höst då det kan vara sämre bärighetsförutsättningar för drivning och transport. Vilhelmina flödesområde är det minsta geografiska området och omfattar enbart Vilhelmina kommun. Vilhelmina flödesområde består mestadels av grantrakter med sämre bärighet, vilket gör att avverkningarna inom detta flödesområde nästan uteslutande sker under vintertid då marken är frusen. Dessutom kräver en stor del av avverkningarna inom Vilhelmina flödesområde att det finns förtrampade vintervägar. Det tar ofta lång tid att få de förtrampade vintervägarna genomfrusna, vilket medför att avverkningarna som kräver förtrampad vinterväg tidigast kan utföras i mitten av januari. Flödesområdet Kusten som utgör det geografiska området längs Västerbottens kust med bland annat Umeå och Nordmaling kommuner. Flödesområdet Kusten utgörs mestadels av marker med sämre bärighet som begränsar tillgängligheten för avverkning och transport under framförallt vår och höst. Åsele flödesområde är ett av de mellanstora geografiska flödesområdena och består av Åsele och Dorotea kommuner. Åsele flödesområde anses ha en relativt jämn fördelning av gran- och talltrakter vilket möjliggör för drivning och transport året runt (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23).

Budgeteringsprocess

Varje år utförs en process för budgeteringen inom Västerbottens skogsförvaltning. Det börjar med att varje flödesområde lägger varsin produktionsbudget för kommande år, innehållande avverkningsvolym. Produktionsbudgeten baseras på avverkningsberäkningen för den egna skogen, köpmålen och tidigare köphistorik samt innehållet i traktbanken avseende sortiment, årstidsbegränsningar och behov av planering och inköp för kommande år. I nästa steg granskar ledningsgruppen inom Västerbottens skogsförvaltning varje flödesområdes produktionsbudget och lämnar synpunkter. Efter att produktionsbudgeten granskats, korrigerats och periodiserats lämnas den till Virkesenheten. Virkesenheten har som uppgift att sköta flödena från alla skogsförvaltningar samt byten med andra aktörer på marknaden. När Virkesenheten granskat produktionsbudgeten kommunicerar de eventuella förändringar med skogsförvaltningarna (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23).

Leveransplaner

Löpande under året lämnas leveransplaner till respektive flödesområde som utgår från produktionsbudgeten, men som ständigt korrigeras i efterhand. Det är produktionschefen som fördelar volymer till varje produktionsledare utifrån produktionsbudgeten samt en plan om tre månader. Sedan utförs fördelningen mot mottagningsplatser inom upptagningsområdet. Produktionsledaren som tillhandahåller tremånadersplanerna är styrd av vad som finns i respektive flödesområdes drivningsliggare, som är likställd med en traktbank där alla trakter som är färdiga och planerade för avverkning finns inlagda. I denna drivningsliggare framgår vad varje trakt innehåller för trädslagssortiment, virkesvolym och vilken årstid som trakten bör avverkas på. Ambitionen hos Västerbottens skogsförvaltning är att drivningsliggaren skall innehålla tre årsmängder av planerade och färdiga trakter för att underlätta och effektivisera planeringen av maskinlagen samt planeringen mot leveransplaner. I dagsläget lider förvaltningen av en liten drivningsliggare med knappt en och en halv årsmängd färdiga trakter. Utifrån dessa förutsättningar ansvarar sedan produktionsledaren för att avverkningarna är klustrade med syftet att minimera

antalet maskinflyttar, samt att rätt maskin är på rätt trakt för att sammantaget minska avverkningskostnaderna. Produktionsledaren ansvarar även för att köpta trakter som är lovade att avverkas blir avverkade inom överenskommen tid (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23).

Uppföljning

Veckovis sker löpande uppföljningar på producerad- samt transporterad mängd virke. Uppföljningen baseras på de för månaden kontrakterade producerad- och transporterad volym, samt gällande utfall och eventuell differens från lagd plan.

Uppföljningen baseras på de producerade- och transporterade volymer som är kontrakterade för månaden, samt gällande utfall och eventuell differens från den lagda planen. Syftet är att kunna justera ifall något av transportflödena eller produktionsflödena inte följer planen, samt att kunna hantera avvikelser i planeringen. Även gentemot mottagningsplatserna sker löpande uppföljningar för kontroll att beställda volymer levererats samt för fortsatt planering av transportflöden. Inom uppföljningen uppskattas hur väl samtliga produktionsledare och virkesköpare uppfyller sina planerade produktions- och köpmål (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23).

Flödesplanering

Flödesplaneringen inom Västerbottens skogsförvaltning utförs av flödesplaneraren som ansvarar för virkes- och transportflödena inom Norrbottens- och Västerbottens skogsförvaltning. Denna Flödesplanerare har en ständig dialog med den andra flödesplaneraren som ansvarar för flödena inom de övriga skogsförvaltningarna. De två flödesplanerarna samarbetar för att alla industrier och mottagningar som de levererar virke till är nöjda och tillhandahåller de överenskomna leveransvolymerna.

Flödesplaneringen börjar med att respektive skogsförvaltning årligen skapar en budgeterad volym per sortiment av virke som de planlägger att avverka, dvs. avverkningsplan. Varje år skapar även samtliga mottagande industrier en budgetbeställning av virkesvolymer som de förväntas förbruka under året. Flödesplaneraren gör sedan en planering för transportflöden över ett år baserat på skogsförvaltningars avverkningsplan och mottagningarnas beställningar av virke. När det handlar om planering av externa bytesvolymer liknar planen till stor del fjolårets planering, med undantag för förändringar som är kända. Under planeringsarbetet av transportflöden tas alla tänkbara flöden i beaktning. Dessutom ställs en prognos baserat på avverkningsplan och mottagningarnas beställningar av virke för att finna optimala byten med externa företag, vilket kan leda till att avverkningsplanen bör justeras. I första hand prioriteras de externa bytena av virkesvolymer som är avtalade för att upprätthålla en god kontakt med de externa företagen. Utöver detta studeras de planerade avverkningsvolymernas geografiska position, under- eller överskott av virkesvolymer i olika områden samt industriernas volymbeställningar. Det är många faktorer som påverkar hur väl avverkningsplanen och mottagningarnas beställningar av virke överensstämmer med verkligheten. I nästa steg återkopplar avdelningen Kundförsörjningen till respektive skogsförvaltning angående avverkningsplanen. Kundförsörjningen kan komma med synpunkter ifall de exempelvis borde styra fler avverkningar mot gallringsavverkningar än vad som planeras för att exempelvis kunna möta mottagningarnas efterfrågan.

Efter att flödesplaneraren skapat sin årliga planering för virkes- och transportflöden utformas varje månad en skarp planering för de tre nästkommande månaderna. Eftersom

det ständigt dyker upp avvikelser och förändringar tvingas flödesplaneraren att justera flödesplanen vartefter tiden går. Av denna skarpa plan utformar flödesplaneraren en övergripande plan till varje skogsförvaltnings transportledare. Sedan sker en avstämning med respektive transportledare ifall den övergripande planering är genomförbar. Om planen inte är genomförbar justeras den.

Under varje månad genomförs två samplaneringsmöten med respektive skogsförvaltning och dess transportledare. Det första mötet utförs i mitten av månaden. Då sker en avstämning av samtliga transportflöden och uppfyllandet av mottagningarnas volymbeställningar av virke. Nästa möte sker antingen i slutet av varje månad eller i början av kommande månad för att diskutera och skapa samsyn angående kommande månads volymleveranser och planering.

Årligen skapas en årsbalans tillsammans med externa företag om vilka sortimentsbyten som är planerade under året. Årsbalansen uppdateras varje månad för att justera efter förändrade förutsättningar. Eftersom avtalade byten med externa företag prioriteras innebär det att leveranser av virkesvolym till de externa mottagningarna tillgodoses i första hand. Följden blir att SCAs egna transporter samt väg- och terminallager fungerar som ett gummiband i organisationen. Av den anledningen levereras inte alltid de överenskomna virkesvolymerna från deras egna virkeslager till SCAs mottagningar (Ölund 2015, pers. komm 2015-10-12).

Transportplanering

Inom Västerbottens skogsförvaltning sitter en transportledare som är ansvarig för att sköta transportflödena från skog till industri inom förvaltningen. Västerbottens skogsförvaltning har kontrakterat ett antal åkerier som transporterar virket. Av dessa åkerier är fyra åkeriägare utvalda som områdesansvariga åkare, vilket innebär att de är ansvariga över transportereringen av virke inom en viss geografi. Idag har varje åkare ett antal avverkningslag som de följer, vilket medför att de nästan uteslutande transporterar virke från avläggen som är skapade av dessa avverkningslag. Tanken är att åkaren och de avverkningslag som de följer skall verka inom samma geografiska område, för att minska transportavstånden och förenkla verksamheten. Varje månad delar transportledaren ut kvoter till sina kontrakterade åkerier med hur mycket virkesvolym de skall transportera till olika industrier. Vid kvotfördelningen tar transportledaren hänsyn till var i geografien som åkaren verkar för att sedan tilldela kvoter till industrier som ligger så nära deras geografi som möjligt, med syftet att minska transportavstånden. Att förse SCAs svenska industrier med det efterfrågade virket från det egna skogsinnehavet och virkesköp är inte alltid så enkelt. För att lyckas med detta krävs att det sker en del byten med andra skogsbolag, skogsindustrier och skogliga föreningar som exempelvis Norra Skogsägarna, Sveaskog, Holmen och Martinsons (Eklund 2015, pers. komm 2015-09-23).

Figur 8 visar en illustrerad kartbild över hur virkestransportsystemet fungerar inom SCAs skogsförvaltning i Västerbotten med omnejd. Inom kartbilden visas mottagande industriernas och terminalernas geografiska destinationer, järnvägens utbredning, SCAs skogsinnehav samt en direktkörningsgräns. Direktkörningsgränsen är generaliserad och framtagen ur ett lönsamhetsperspektiv som innebär att alla virkestransporter från avlägg öster om direktkörningsgränsen bör ske med virkesbil, medan virkestransporter från avlägg väster om direktkörningsgränsen bör ske med järnväg. I praktiken innebär det att virke från avlägg väster om direktkörningsgränsen transporteras med virkesbil till närmaste terminal

där det sedan transporteras vidare med tåg till mottagande industrier. Lycksele, Storuman och Hoting utgör terminaler som Västerbottens skogsförvaltning använder.

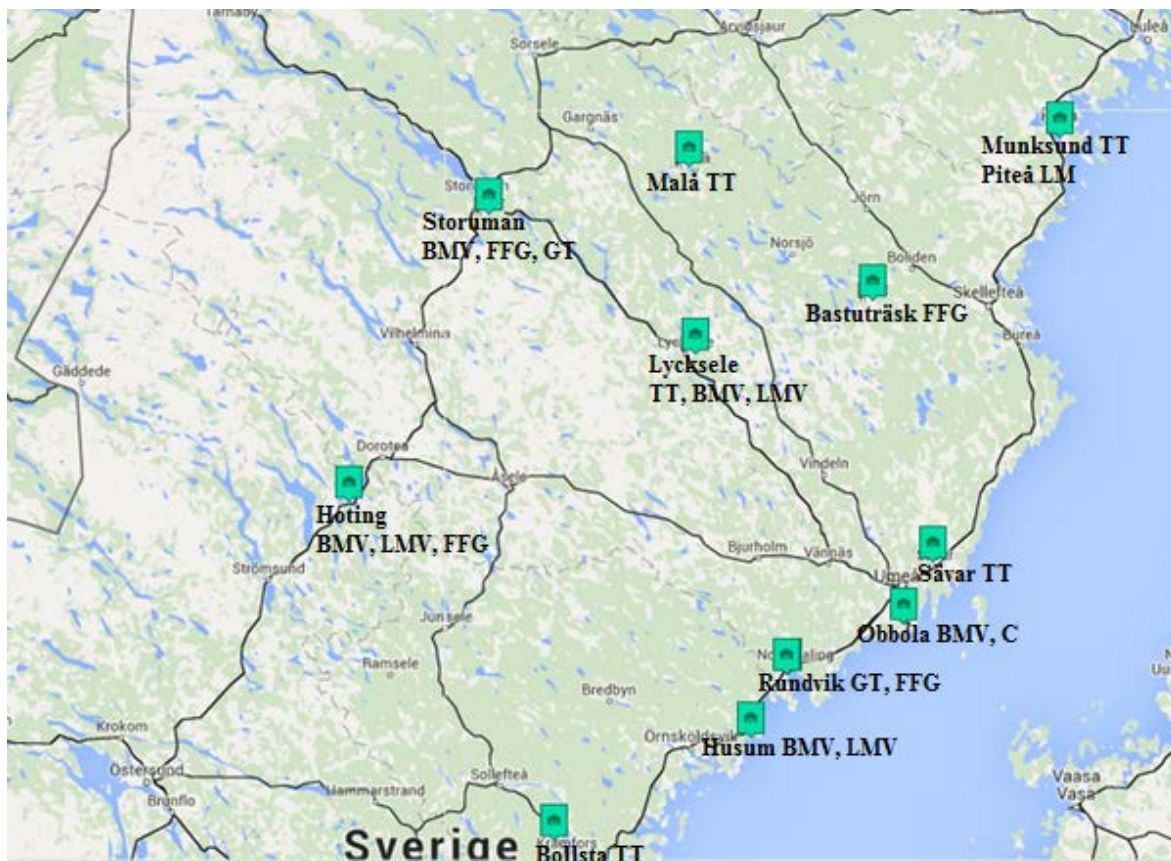


Figur 8. SCAs virkestransportsystem inom Västerbottens skogsförvaltning (SCA Skog AB, 2013).

Figure 8. The wood transport system of SCA Skog in Västerbottens forest district (SCA Skog AB, 2013).

Mottagningsplatser

Västerbottens skogsförvaltning levererar virke till ett antal olika mottagningsplatser (figur 9). En mottagningsplats kan antingen vara en industri eller en terminal. Industrierna ligger i huvudsak längs med norra Sveriges östkust i Piteå, Munksund, Sävar, Obbola, Rundvik, Husum och Bollsta. Medan terminalerna återfinns i inlandet, i orterna Storuman, Lycksele, Bastuträsk och Hoting. Ett undantag från detta är Malå som ligger i inlandet och är en mottagande industri. Till dessa mottagningsplatser levereras olika sortiment, så som talltimmer, grantimmer, barrmassaved, lövmassaved, frisk färsk gran och contorta (figur 9).



Figur 9. Mottagningsplatser som Västerbottens skogsförvaltning levererar virke till och vilka sortiment som levereras till respektive mottagning. TT=Talltimmer, GT=Grantimmer, BMV=Barrmassaved, LMV=Lövmassaved, FFG=Frisk Färsk Gran, C=Contorta (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23).

Figure 9. Receiving sites where the forest district of Västerbotten supply wood, and the assortment delivered to each receiving. TT=Pine logs, GT=Spruce log, BMV=softwood, LMV=hardwood, FFG=Fresh Spruce pulpwood, C=lodgepole Contorta (Bylund 2015, pers. komm 2015-09-23).

1.9 Nuvarande beställningar av virke

Idag baseras en normal beställning av virke till mottagningsplatser inom Västerbottens skogsförvaltning på minimering av avverkningskostnader. Vid beställning av virke fokuseras avverkningsplaneringen på parametrar som:

- Att minimera maskinflyttar och maskinflyttsavstånd vilket innebär klustring av maskinlag
- Att avverka trakter inom områden i rätt årstid
- Att möta mottagningarnas beställning av sortiment och volym.
- Att avverka köpta trakter av skogsägare inom överenskommen tid.

Effekten av en normal beställning så som den utförs idag är att avverkningslagen blir mer eller mindre klustrade under året, samt att det kan bli förskjutningar av avverkningslagen åt olika håll inom skogsförvaltningens geografiska område under ett år. Exempelvis tenderar avverkningarna att vara belägna mer västerut mot fjällkedjan under vintermånaderna eftersom det finns flest vintertrakter där. Slutligen leder detta till att transportavstånden till mottagningarna blir onödigt långa ibland.

1.10 Geografiska beställningar av virke

Med geografiska beställningar av virke är syftet att minimera transportkostnaderna genom att transportavstånden till mottagningarna minskas då det ständigt finns avlägg med virke nära samtliga mottagningar. Geografiska beställningar av virke innebär att avverkningarna planeras att vara geografiskt spridda till ett antal områden under hela året inom Västerbottens skogsförvaltning

Vid geografiska beställningar av virke fokuseras avverkningsplaneringen på parametrar som:

- Att försörja mottagningarna med rätt sortiment och volym inom rätt tid
- Minimera transportavstånd från avlägg till mottagare
- Planera avverkningarna med avseende på att det alltid skall finnas avlägg relativt nära varje mottagning under hela året. Då kan mottagningarna försörjas med virke från avlägg inom rimliga avstånd.

Sekundärt tas hänsyn till att minska avverkningskostnaderna, efter att avverkningsplaneringen i första hand baserats på ovanstående parametrar för att minska transportkostnaderna. Efter att avverkningarna i stort blivit geografiskt spridda kan sedan avverkningarna försöka klustras inom sina geografiska områden för att minska antalet maskinflyttar och dess avstånd.

1.11 Problemformulering

När Västerbottens skogsförvaltning utfärdar en avverkningsplan för kommande år tar de inte alltid hänsyn till mottagningsplatsernas geografiska belägenhet. Skogsförvaltningen fokuserar främst på att minimera avverkningskostnaden, vilket leder till att avverkningarna blir geografiskt klustrade till ett visst område under olika perioder av året inom Västerbottens skogsförvaltning. Eftersom skogsförvaltningen har många geografiskt spridda mottagare blir konsekvensen att transporterna går kors och tvärs och transportsträckorna blir alltför långa. Enheten Virke vill med anledning av detta undersöka om det är möjligt att sänka transportkostnaderna genom att utgå från geografiska beställningar av virke när avverkningsplaneringen utformas. Vidare vill de undersöka fördelar samt nackdelar med införandet av geografiska beställningar av virke. Enheten Virke tror att SCA Skog AB kan sänka de totala kostnaderna, vilket innefattar transport- och avverkningskostnaderna, med geografiska beställningar av virke. Trots en eventuell ökning av avverkningskostnaden förväntas minskningen i transportkostnaden vara av den storlek att SCA Skog AB minskar de totala kostnaderna.

Svårigheter

Det finns en del kända svårigheter och utmaningar i dagsläget om avverkningsplaneringen skall utgå från geografiska beställningar av virke, och det gäller faktorer som:

- Vintertid behöver Vilhelmina Flödesområde förstärkning av fler maskinlag från exempelvis Lycksele för att mäta med vinteravverkningarna. Detta medför att det blir en klustring av maskinlag i Vilhelmina flödesområde under vintermånaderna.
- Årstidsberoende områden som är mer eller mindre tvingande att avverkas under en viss årtid.
- Skogsägare som lovats att deras avverkning skall bli avverkad inom en angiven tidsram som tvingar att något maskinlag skall finnas tillgängligt i närheten.

- Liten mängd färdiga och planerade avverkningar i drivningsliggaren minskar flexibiliteten och tillgängligheten för att styra avverkningarna efter önskan.

1.12 Syfte

Syftet med studien är att undersöka om transportkostnad, totalt transportarbete, medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd minskar vid övergång till geografiska beställningar inom SCA Västerbottens skogsförvaltning.

Frågeställningar

1. Minskas transportkostnaderna med geografiska beställningar av virke inom Västerbottens skogsförvaltning i jämförelse med nuvarande beställningar av virke, och hur mycket minskar de i sådana fall?
2. Minskas totala transportarbetet, medeltransportavstånd samt volymvägt medeltransportavstånd med geografiska beställningar av virke inom Västerbottens skogsförvaltning i jämförelse med nuvarande beställningar av virke, och hur mycket minskar de i sådana fall?

Hypotes

Hypotesen är att geografiska beställningar av virke kan minska transportarbetet och transportkostnaderna inom SCA Västerbottens skogsförvaltning.

Avgränsningar

Studien avgränsades till att studera och analysera Västerbottens skogsförvaltning med tillhörande geografiska område och geografiskt spridda mottagningsplatser över norra Sverige. Studien avgränsades även till att enbart studera transportdata från virkesbiltransporter och tar inte hänsyn till järnvägstransporter med tillhörande avgifter och kostnader. En mottagningsplats i denna studie kan utgöras av antingen en industri, en järnvägsterminal eller en virkesterminal. Studien tar inte hänsyn till import eller byten med andra skogsbolag, skogliga föreningar eller andra skogsförvaltningar inom SCA Skog AB.

2. Material och metoder

Studien utfördes i fyra olika moment:

1. Bearbetning och hantering av Västerbottens skogsförvaltnings produktions- och transportdatat från 2015.
2. Flödesoptimeringar via FlowOpt av det bearbetade och hanterade produktions- och transportdatat för Västerbottens skogsförvaltning från år 2015. Syftet med flödesoptimeringarna var att skapa en simulering av verkligheten, dvs ”Nuvarande beställningar av virke (Referens)” samt simuleringar av ”Geografiska beställningar av virke” för året 2015.
3. Jämförelse mellan optimeringslösningarna och dess resultat som transportkostnader, transportarbete och avstånd. Framförallt jämfördes optimeringslösningar som simulerar nuvarande beställningar med optimeringslösningar som simulerar geografiska beställningar för att uppskatta besparingspotentialer av kostnader, transportarbete och avstånd.
4. Undersöka möjlighet till implementering av geografiska beställningar på Västerbottens skogsförvaltning.

Studien berör både den taktiska och operativa planeringsnivån.

Transportoptimeringssystemet FlowOpt hanterar flöden på årsbasis och veckonivå.

Tillvägagångssätt

Allra först bearbetades det erhållna produktions- och transportdatat från 2015 till tabeller som sedan kunde användas som indata till flödesoptimeringar via FlowOpt. Innan optimeringarna utfördes skapades en referens till hur Västerbottens skogsförvaltning gjorde i verkligheten under 2015, där val av bestånd för avverkning och transporter av virke skedde på samma sätt och vid samma tidpunkt som i verkligheten. Det vill säga, en referens för nuvarande beställningar av virke. Denna referens utgörs av ”Referens 1”.

Optimeringarna beställdes av Mikael Frisk Konsult AB, som använde FlowOpt. Det utfördes sammanlagt 8 olika optimeringar vid tre olika omgångar. Samtliga optimeringar var olika simuleringar av geografiska beställningar av virke samt nuvarande beställningar av virke.

I nästa steg jämfördes simuleringar av geografiska beställningar av virke och nuvarande beställningar av virke med varandra och med Referens 1. De jämfördes med avseende på total transportkostnad, totalt transportarbete, medeltransportavstånd samt volymvägt medeltransportavstånd. Via jämförelserna uppskattades besparingspotentialer. Ytterligare en jämförelse utfördes på en simulering av geografiska beställningar och en simulering av nuvarande beställningar, för att studera den geografiska spridningen av bestånd under en kortare tidsperiod.

2.1 Databeskrivning

Datat som erhöles till studien utgjordes av produktions- och transportdata av Västerbottens skogsförvaltning från år 2015. Det erhållna transportdatat kom från Skogsbrukets Datacentral (SDC) som är ett opartiskt företag och fungerar som skogsnäringens informationsnav. SDC förmedlar kvalitetssäkrad information om produktinformation,

lagerförflyttningar samt inmätning för virkes-, transport och biobränsleaffärer (SDC, 2015). Produktionsdatat kommer från SCAs egna skotarrapporteringssystem som lagras i en produktionsdatabas.

Produktionsdata

Produktionsdatat är uppdelat i kolumner och rader i Excel. Varje kolumn har en rubrik, där de kolumner med information som är nödvändiga för optimeringarna har rubrikerna Volym, Datum, Sortiment och Beståndsid. Volymen är angiven i kubikmeter fast under bark (m^3fub). Sortimenten anges med en bokstav, där talltimmer anges med T, grantimmer anges med G, barrmassaved anges med B, lövmassaved anges med L och frisk färsk gran anges med F. Beståndsid anges med en kod om 11 siffror. För varje rad i produktionsdatamaterialet anges således information om var i geografin avlägget var beläget med hjälp av koordinater. Dessutom anges andel virkesvolym (m^3fub) per sortiment som skotats till avlägg per datum.

Transportdata

Transportdatat är uppbyggt på samma sätt som produktionsdatat i kolumner och rader i Excel. Rubrikerna på kolumnerna för transportdatat är identiska med produktionsdatat med skillnaden att transportdatat har en rubrik som heter Mottagningsplats. Inom kolumnen Mottagningsplats anges mottagningsplatsens identitetsnummer, vilken bestämts av systemet VIOL (Virke On Line). VIOL är SDCs branschgemensamma system för affärer som ger en aktuell och uppdaterad information om leveranser som genomförts i hela kedjan, från skog till industri (SDC, 2016). För varje rad anges således information om andel virkesvolym (m^3fub) per sortiment som transporterats från bestånd till mottagningsplats per datum.

2.2 Datahantering och bearbetning

För att utföra optimeringar av det erhållna transport- och produktionsdatat via FlowOpt behövde datamaterialet bearbetas och sorteras. Allra först rensades datamaterialet från sortimenten contorta och rötskadat virke. Datamaterialet innehåller enbart de fem dominerande sortimenten; talltimmer, grantimmer, barrmassaved, lövmassaved samt frisk färsk gran (FFG).

Till både produktions- och transportdatat adderades en kolumn med rubriken Vecka, som ett komplement till de datum som fanns. Inom kolumnen angavs för varje rad vilken vecka som skotningen eller transportereringen skedde. Bestånd som skotats men inte transporterats och bestånd som transporterats men inte skotats under året 2015 rensades bort ur datamaterialet. Detta beror på att optimeringssystemet enbart kunde använda bestånd som hade datauppgifter om både transport och skotning.

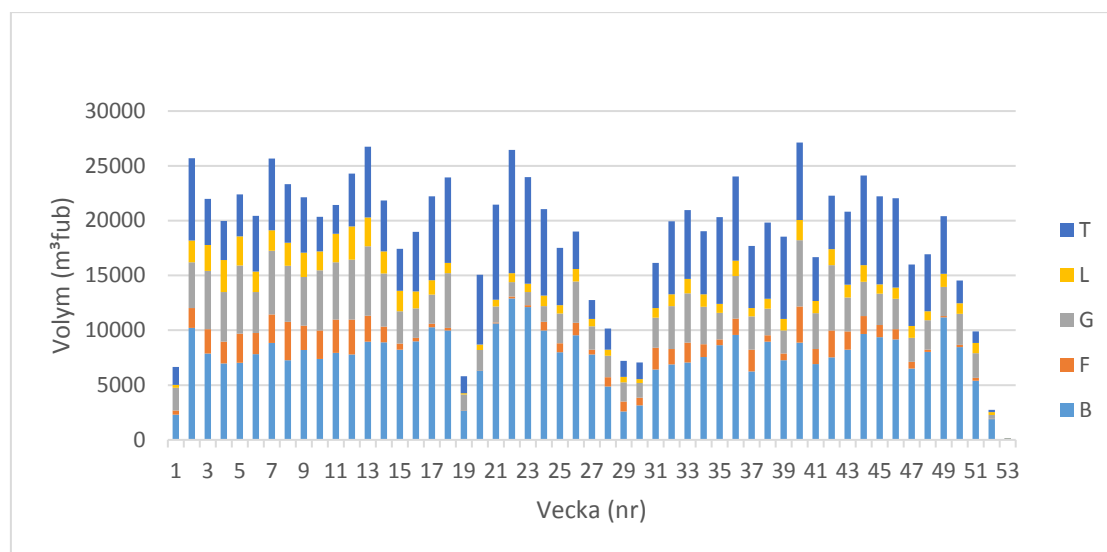
Utifrån det erhållna och sorterade datamaterialet skapades två olika tabeller, en tillgångstabell och en efterfrågetabell. Båda tabellerna användes som indata till optimeringarna via FlowOpt. Det fick inte finnas någon differens mellan båda tabellernas totala virkesvolym för 2015 för att flödesoptimeringarna skulle fungera. I det erhållna originella transport- och produktionsdatat från SCA Skog AB, skiljde sig totalvolymerna på årsbasis mellan de två datamaterialen. Enligt Asmoarp et al. (2015) kan det finnas flera anledningar till detta. Bland annat kan det bero på att skotarrapporteringen varit felaktig eller uteblivits, att avräkningen när volymerna hämtas vid avlägg av virkesbilschaufförer

uteblivits, eller på grund av så kallad sortimentsvandring vid skotning, lastning av virkesbil och inmätning vid industri. Sortimentsvandring innebär att en volym av ett sortiment som rapporterats in via skotarrapporteringen sedan mäts in vid industri som ett annat sortiment. Exempelvis kan skotaren rapporterat kientimmer av en viss volym som sedan mäts in som massaved hos mottagande industri. Sortimentsvandringen ger således inte en korrekt lagervolym, och därför kan manuella justeringar krävas i efterhand (Asmoarp et al. 2015).

Tillgångstabell

För att undvika att sortimentsvolymerna skulle skilja sig mellan tillgångs- och efterfrågetabellerna, användes enbart de transporterade sortimentsvolymerna för båda tabellerna. Detta innebär att information som sortiment, volym och beståndsid kom från transportdatat till tillgångstabellen. Medan veckoinformationen om när avläggen skapades togs från produktionsdatat.

En tillgångstabell skapades med data om beståndsid, vilka sortiment och vilka volymer som blev tillgängliga en viss vecka från olika bestånd. Tillgångstabellen innehöll totalt 1344 bestånd vars sammanlagda volymer vanligtvis varierade mellan 15000 och 25000 m³fub per vecka, utom för vissa perioder av året när volymerna var under 10000 m³fub per vecka (figur 10).



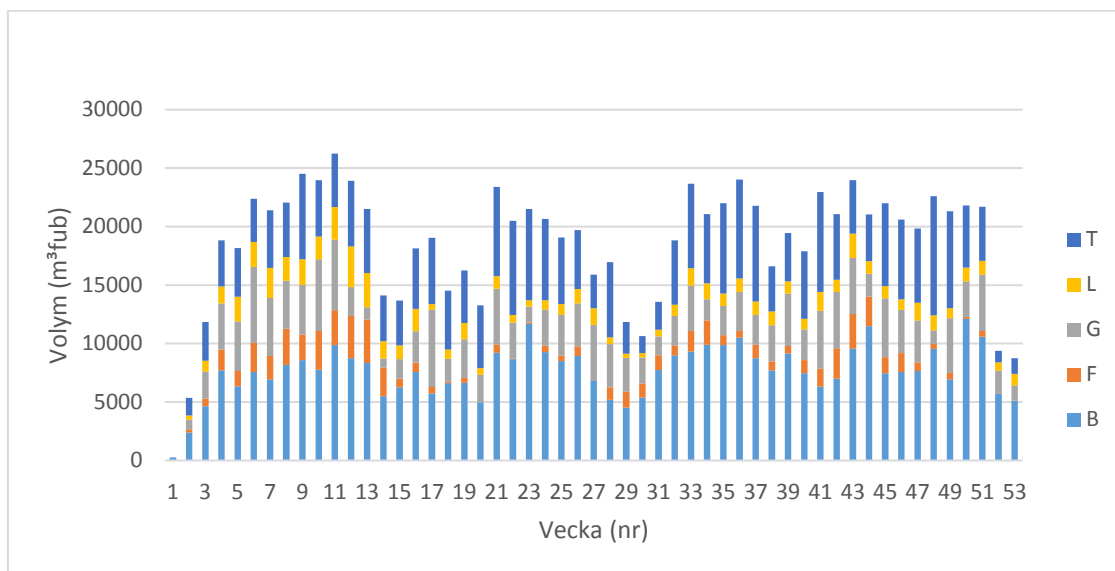
Figur 10. Tillgänglig volym (m³fub) vid avlägg per vecka och sortiment under 2016 för Tillgångstabellen. T=Talltimmer, L=Lövmassaved, G=Grantimmer, F=Frisk färsk gran, B=Barrmassaved.

Figure 10. Available volume (m³sub) at landings per week and assortments during 2016 for the access table. T=Pine logs, L=Hardwood, G=Spruce logs, F=Fresh spruce pulpwood, B=Softwood.

Efterfrågetabell

För att skapa efterfrågetabellen hämtades information enbart från transportdatat. Anledningen var att den veckovisa transportereringen av sortimentsvolymer till mottagningarna ansågs utgöra mottagningarnas efterfrågan. Från transportdatat användes information om mottagningsplats, vecka för transport, sortimentangivelse samt andel virkesvolym.

En efterfrågetabell skapades med data om beståndsid, vilka sortiment och vilka volymer som levererades en viss vecka till mottagningsplatser. Efterfrågetabellen innehöll totalt 22 mottagningsplatser vars sammanlagda leveransvolymen vanligtvis varierade mellan 15000 och 25000 m³fub per vecka, utom för vissa perioder av året när volymerna var under 15000 m³fub per vecka (figur 11).



Figur 11. Levererad virkesvolym (m³fub) till mottagningsplats per vecka och sortiment under 2015 för Efterfrågetabellen. T=Talltimmer, L=Lövmassaved, G=Grantimmer, F=Frisk färsk gran, B=Barrmassaved.

Figure 11. Delivered woodvolume (m³sub) to the receiving site per week and assortment during 2015 for the demand table. T=Pine logs, L=Hardwood, G=Spruce logs, F=Fresh spruce pulpwood, B=Softwood.

Resultattabell

Innan optimeringarna utfördes bestämdes vad resultattabellen skulle innehålla. De resultat som skulle återfinnas i resultattabellen var total transportkostnad (kr), totalt transportarbete (tonkm), medeltransportavstånd (km) och volymvägt medeltransportavstånd (km).

Transportprisformel och omföringstal

SCA Skog använder sig av en transportprisformel för att ersätta en virkesbils rutts kostnad inklusive lastning och lossning med kr/ton. Transportprisformeln bygger således på avstånd och lassetts vikt. Transportprisformeln ser ut på följande sätt:

$$22,39 + (A \times 0,6365) = \text{kr per ton}$$

där, 22,39 = en summa som skall täcka kostnad för lastning och lossning (kr)
 A = Transportavstånd enkel väg (antal km)

För att räkna ut transportkostnaden per rutt användes transportprisformeln. Till följd av att transportprisformeln baseras på vikt istället för volym användes omföringstal framtagna av SCA Skog för att beräkna det erhållna datat från volym (m³sk) till ton (tabell 1).

Tabell 1. Omföringstal för sortiment från volym i enheten m³fub till ton

Table 1. Conversion factors for volume in the unit m³fub to tonnes

Sortiment	Omföringstal (ton/m ³ fub)
Talltimmer	0,830
Grantimmer	0,895
Barrmassaved och FFG	0,920
Lövmassaved	1,050

2.3 Flödesoptimering via transportoptimeringssystemet FlowOpt

Flödesoptimeringarna av det erhållna och bearbetade produktions – och transportdatat utfördes på uppdrag av Mikael Frisk konsult AB. Enligt Forsberg et al. (2005) kräver virkesflödesanalyser mycket arbete för att förbereda data samt tolka resultaten, vilket medför att dessa arbetsmoment är tidskrävande om de ska utföras manuellt. Att utföra virkesflödesanalyser manuellt innebär även svårigheter med att kontrollera noggrannheten i data samt finna fel i datasamplet (Forsberg et al., 2005). Av dessa anledningar valdes därför att beställa en flödesoptimering via optimeringsverktyget FlowOpt av Mikael Frisk Konsult AB.

Målfunktionen för optimeringarna via Flowopt syftade till att maximera vinsten (z) av intäkter och kostnader på följande sätt (Flisberg et al., 2012):

$$\max z = \sum \text{Intäkter} - \sum \text{Kostnader}$$

Intäkterna kom från försäljning (Bilaga 1). Kostnaderna som ingick i modellen var bland annat transportkostnader, lagerkostnader samt övriga kostnader för exempelvis icke uppfyllt efterfrågan (Flisberg et al., 2012).

Den optimeringsmodell som användes (bilaga 1) är densamma som Flisberg et al. (2012) presenterade förutom att de delarna som berörde sönderdelning av skogsbränsle samt tågtransporter med tillhörande kostnader inte fanns med i den här studien.

Till följd av att indata till flödesoptimeringarna via FlowOpt blev för stort när veckor användes som tidsperioder (t), grupperades veckorna i tvåveckorsperioder. Istället för 53 tidsperioder blev det således 27 tidsperioder ($1 \leq t \leq 27$) i varje optimeringslösning.

Allra först skapades en referens för hur Västerbottens skogsförvaltning gjorde i verkligheten under 2015, dvs. nuvarande beställningar av virke, som fick namnet "Referens 1" (tabell 2). I nästa steg utfördes sammanlagt 8 optimeringslösningar under tre olika omgångar (tabell 2). Vid varje omgång utfördes en simulering vardera av nuvarande beställningar av virke, geografiska beställningar av virke samt endera nuvarande - eller geografiska beställningar av virke med en modifiering. Således benämndes optimeringslösningarna som "Nuvarande beställningar, version", "Geografiska beställningar, version" samt "Aktuell beställning, version samt inom parentes aktuell modifiering". Versionen för varje optimeringslösning följde en stigande turordning med start från nummer 2. Anledningen till att Optimeringslösningarna startade med nummer 2 berodde på att "Referens 1" inte skulle förväxlas med den första optimeringslösningen.

Undantagsvis innehöll omgång 1 enbart 2 optimeringslösningar. För omgång 1 utfördes ingen optimeringslösning av ”Nuvarande beställningar”, då det alternativet ersattes av ”Referens 1”.

Tabell 2. Genomförda optimeringar

Table 2. Completed optimizations

Optimeringslösning	Namn	Förkortning
Referens 1	Referens Nuvarande beställningar	Ref.NB.I
<i>Omgång 1: utan tidskrav</i>		
Optimeringslösning 2	Nuvarande beställningar II (Transportera till närmaste mottagning)	NB.II
Optimeringslösning 3	Geografiska beställningar II	GB.II
<i>Omgång 2: med tidskrav</i>		
Optimeringslösning 4	Nuvarande beställningar III	NB.III
Optimeringslösning 5	Geografiska beställningar III	GB.III
Optimeringslösning 6	Nuvarande beställningar IV (Kan spara bestånd två veckor)	NB.IV
<i>Omgång 3: med tidskrav, årstidsbegränsning, vinterlagringsmöjligheter</i>		
Optimeringslösning 7	Nuvarande beställningar V (Kan spara bestånd två veckor)	NB.V
Optimeringslösning 8	Geografiska beställningar IV	GB.IV
Optimeringslösning 9	Geografiska beställningar V (Utan årstidsbegränsning)	GB.V

Omgång 1, 2 & 3

Det som skiljde omgång 1, 2 och 3 var att olika restriktioner (bilaga 1) applicerades för omgångarnas optimeringslösningar. Generellt ökade antalet restriktioner för varje omgång. Restriktionerna inom en omgång var densamma för samtliga optimeringslösningar. Om en av optimeringslösningarna avvek från omgångens restriktion angavs det inom optimeringslösningen. Nedan följer en beskrivning av respektive omgång inklusive restriktioner:

Omgång 1 – Inom omgång 1 applicerades inga generella restriktioner för optimeringslösningarna 2 och 3. Det fanns därmed inget tidskrav för hur länge avverkat virke fick lagras på avlägg.

Omgång 2 – Inom omgång 2 användes en heltalsformulering (bilaga 2) för att applicera ett tidskrav som restriktion. Heltalsformuleringen medförde att binära variabler användes, vilket innebar att variablerna enbart kunde anta värdet 0 eller 1. Med hjälp av heltalsformuleringen infördes en restriktion om att allt virke från ett bestånd var tvunget att transporteras under 4 sammanhängande veckor. Transporteringen av virke från ett bestånds avlägg startar när hela virkesvolymen från beståndet är skotat till avlägget.

Omgång 3 – Inom omgång 3 behölls tidskravet för året med undantag för månaderna december till maj då tidskravet togs bort. Under månaderna december till maj fanns möjlighet att vinterlagra avverkade virkesvolymen. För samtliga bestånd applicerades även en årstidsklassning med syftet att avverka och transportera från ett bestånd under angiven

årstid eller årstider med bättre bärighet. Således applicerades en restriktion som gav större frihet (vinterlagringsmöjligheten), samt en restriktion som minskade friheten (årstidsbegränsningen) vid val av bestånd.

Beskrivning av Referens 1

1. "Referens Nuvarande beställningar av virke"

En återspeglings för hur Västerbottens skogsförvaltning gjorde i verkligheten under 2015 avseende avverkningstidpunkt för bestånd samt transporterings-tidpunkt från avlägg och val av mottagningsplats. Det vill säga, en referens för begreppet "nuvarande beställningar av virke". Syftet med Referens 1 är att kunna jämföra simuleringar av både geografiska beställningar- samt nuvarande beställningar av virke med hur Västerbottens skogsförvaltning faktiskt gjorde sina beställningar av virke under 2015.

Beskrivning av Optimeringslösningarna 2 & 3, Omgång 1 – utan tidskrav

2. "Nuvarande beställningar II (Transportera till närmaste mottagning)"

Simulering av nuvarande beställningar av virke med en modifiering. Det innebär att alla virkesvolymerna blir tillgängliga samma tidpunkt som i Referens 1. Till skillnad från Referens 1 kan virket transporteras till närmaste mottagningsplats. Virket levereras därmed inte alltid till samma mottagningsplats som i Referens 1.

3. "Geografiska beställningar II"

Simulering av geografiska beställningar av virke. Det innebär att tidpunkt och val av bestånd för avverkning samt transporter från bestånd till mottagningsplats utfördes när det var optimalt ur transportkostnadssynpunkt.

Beskrivning av Optimeringslösningarna 4 - 6, Omgång 2 – med tidskrav

4. "Nuvarande beställningar III"

Simulering av nuvarande beställningar av virke med tidskrav. Skillnaden gentemot Referens 1 är att tidskravet applicerades. Detta innebär att bestånd som i Referens 1 hade en period för transport som var längre än tidskravet minskades till att pågå under 4 veckor.

5. "Geografisk beställningar III"

Simulering av geografiska beställningar av virke med tidskrav. Skillnaden gentemot "Geografiska beställningar II" var att tidskravet applicerades.

6. "Nuvarande beställningar IV (Kan spara bestånd två veckor)"

Simulering av nuvarande beställningar av virke med tidskrav och en modifiering. Skillnaden gentemot "Nuvarande beställningar III" var modifieringen som ger möjligheten att vänta med ett bestånd ytterligare 2 veckor från när det valdes i "Referens 1".

Beskrivning av Optimeringslösningarna 7 – 9, Omgång 3 – med tidskrav, vinterlagringsmöjlighet och årstidsbegränsningar

7. "Nuvarande beställningar V (Kan spara bestånd i två veckor)"

Simulering av nuvarande beställningar av virke, med tidskrav, vinterlagringsmöjligheter, årstidsbegränsningar samt möjlighet att vänta med ett bestånd ytterligare 2 veckor från när det valdes i "Referens 1".

Skillnaden gentemot ”Nuvarande beställningar IV (Kan spara bestånd 2 veckor)” var applicerandet av årstidsbegränsningen och vinterlagringsmöjligheten.

8. ”*Geografisk beställningar IV*”

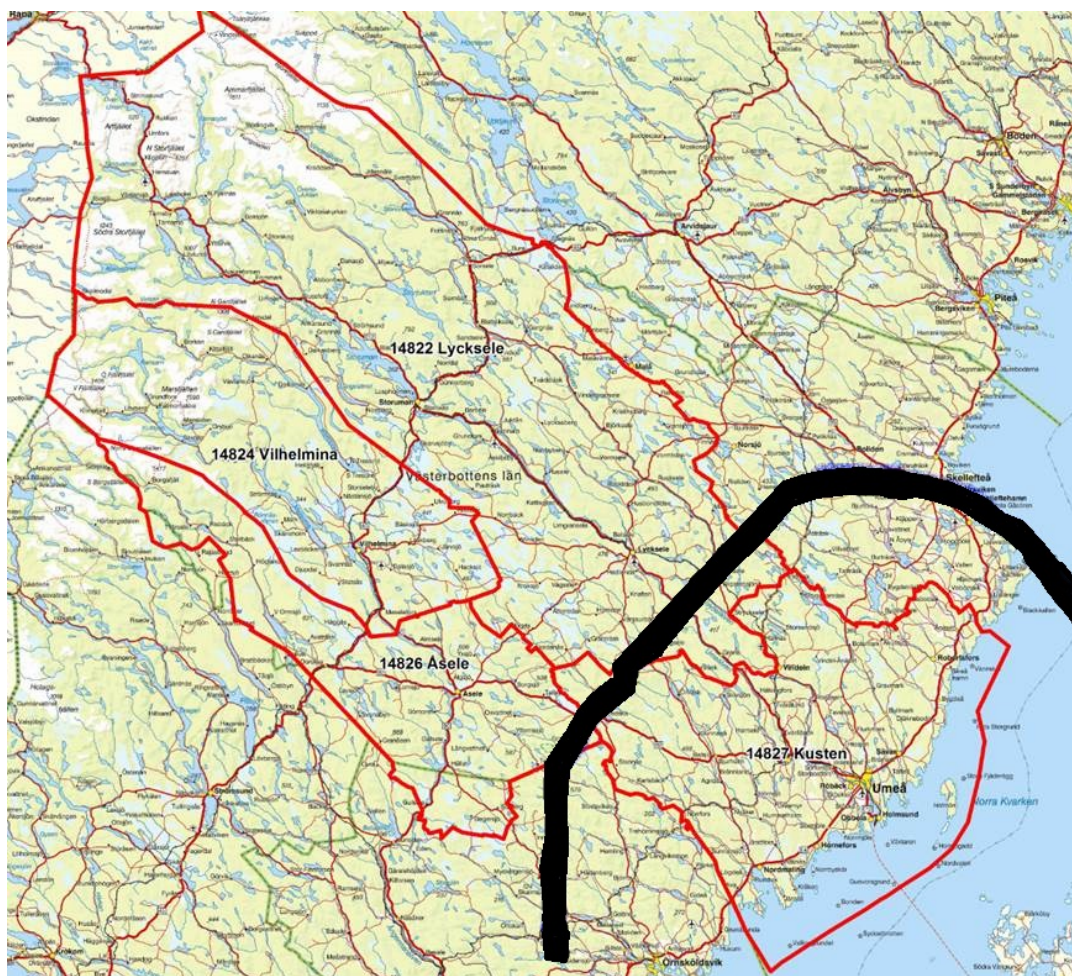
Simulering av geografiska beställningar av virke, med tidskrav, vinterlagringsmöjligheter och årstidsbegränsning. Skillnaden gentemot ”Geografisk beställningar III” var vinterlagringsmöjligheten och årstidsbegränsningen.

9. ”*Geografisk beställningar V (Utan årstidsbegränsning)*”

Simulering av geografiska beställningar av virke, med tidskrav och vinterlagringsmöjligheter. Till skillnad från ”Geografisk beställningar IV” togs årstidsbegränsningen för bestånden bort, vilket ger större frihet för val av bestånd inför avverkning och transport.

Årstidsbegränsning

Den årstidsbegränsningen som användes för bestånden i Optimeringslösning 7 och 8 fördelades geografiskt efter inland och kust (figur 12). Anledningen till detta är att årstidernas början och slut samt längd skiljer sig åt mellan Västerbottens kustland och inland (tabell 3) (Bylund 2016, pers. komm 2016-05-11).



Figur 12. Geografisk indelning av kust och inland för Västerbottens skogsförvaltningsområde. Området till höger om den svarta linjen utgör kust och området till vänster utgör inland (Bylund 2016, pers. komm 2016-05-11).

Figure 12. Geographical division of the coast and inland of Västerbotten's forest districts area (Bylund 2016, pers. komm 2016-05-11).

Tabell 3. Årstidsfördelning per månad för kustland och inland av Västerbotten

Table 3. Season's month for coast and inland for the county of Västerbotten

Årstid	Kustland	Inland
Vinter	Januari – Mars	December – April
Vår	April – Maj	Maj – Juni
Sommar	Juni – September	Juli – September
Höst	Oktober – December	Oktober – November

För optimeringslösning 7 "NB.V" och optimeringslösning 8 "GB.IV" applicerades en restriktion som innebar att ett bestånd enbart fick avverkas under den årstidsklassning som beståndet har. Om bestånd i verkligheten blev avverkade under en årstid som beståndet inte var klassat inom tilläts avverkning av beståndet även under den årstiden. För tillgänglighet till beståndens avlägg tilläts transporter under årstiderna som bestånden var klassade efter, samt för årstider med sämre bärighet (tabell 4). Till exempel tilläts transporter av virkesvolymen från bestånd med årstidsklassning "Vår" även under alla andra årstider då våren är den årstid med sämst bärighet.

Tabell 4. Tillgänglighet för årstider efter årstidsklassning. De årstider som årstidsklassningen medger tillgänglighet under representeras av ett "X"

Table 4. Availability of seasons due to the seasonal classification. The seasons that the classification allows availability during are represented by an "X"

Årstidsklass	Vinter	Vår	Sommar	Höst
Vinter	X			
Vår	X	X	X	X
Sommar	X		X	
Höst	X		X	X

Möjlighet till lagring av vinteravverkade virkesvolymen under vintermånaderna

För samtliga optimeringslösningar inom Omgång 3 fanns möjlighet till vinterlagring av avverkade virkesvolymen under december till maj. Idag finns vinterlagringsmöjligheten inom Västerbottens skogsförvaltning under månaderna december till maj eftersom snö och kyla håller skadeinsekter och svamp borta (Sakari 2016, pers. komm 2016-04-11). Detta öppnar upp tidskravet om att allt virke måste levereras från avlägg till mottagare inom 4 veckor under månaderna december till maj.

Geografisk spridning av bestånd för Optimeringslösning 4 "NB.III" och Optimeringslösning 5 "GB.III"

För Optimeringslösning 4 "NB.III" och Optimeringslösning 5 "GB.III" visualiserades den geografiska spridningen av bestånd i form av kartbilder under en tidsperiod om 4 veckor. Tidsperioden omfattade månaderna februari och mars under vecka 7 till 10. Syftet med visualiseringen var att se om det fanns geografiska skillnader för val av bestånd mellan "Nuvarande beställningar av virke" och "Geografiska beställningar av virke".

3. Resultat

3.1 Transportkostnad

Samtliga optimeringslösningar som simulerade geografiska beställningar fick lägre total transportkostnad än optimeringslösningar som simulerade nuvarande beställningar (tabell 5).

Högst total transportkostnad fick Referens 1 "Ref.NB.I" med 91 758 200 kr, som representerar hur nuvarande beställningar av virke utfördes i verkligheten under 2015.

Lägst total transportkostnad fick Optimeringslösning 3 "GB.II" med 84 410 001 kr, som var en simulering av geografiska beställningar utan tidskrav.

Näst lägst transportkostnad fick Optimeringslösning 9 "GB.V" med 84 656 536 kr. Det var en simulering av geografiska beställningar utan årstidsbegränsning för bestånden, men med vinterlagringsmöjligheter och tidskrav för resterande del av året.

Fjärde lägst total transportkostnad hade Optimeringslösning 8 "GB.IV" med 85 427 514 kr. Det var en simulering av geografiska beställningar av virke med tidskrav, vinterlagringsmöjligheter samt årstidsbegränsning för bestånden.

Ju fler restriktioner som applicerades i optimeringslösningarna för geografiska beställningar desto högre blev den totala transportkostnaden. Däremot blev den totala transportkostnaden för Optimeringslösning 9 "GB.V" lägre än den totala transportkostnaden för Optimeringslösning 5 "GB.III" trots att Optimeringslösning 9 hade fler restriktioner. Anledningen till detta beror på att Optimeringslösning 9 hade vinterlagringsmöjligheten som restriktion som inte Optimeringslösning 5 hade, vilket således genererar lägre transportkostnader.

Tabell 5. Total transportkostnad i kr. Inom parentes anges procentsats i förhållande till transportkostnaden för Ref.NB.I

Table 5. Total transportation costs in Swedish crowns (SEK). In the parentheses percentage in relation to the transport costs of Ref.NB.I is shown

Optimeringslösning	Total transportkostnad (kr) (%)
1. Ref.NB.I	91 758 200 (100)
<i>Omgång 1 utan tidskrav</i>	
2. NB.II	85 592 503 (93,3)
3. GB.II	84 410 001 (92)
<i>Omgång 2 med tidskrav</i>	
4. NB.III	86 957 347 (94,8)
5. GB.III	84 823 925 (92,4)
6. NB.IV	86 194 382 (93,9)
<i>Omgång 3 med tidskrav, årstidsbegränsning & vinterlagringsmöjligheter</i>	
7. NB.V	86 882 625 (94,7)
8. GB.IV	85 427 514 (93,1)
9. GB.V	84 656 536 (92,2)

Besparingspotential av transportkostnader

Det finns besparingspotentialer av transportkostnaden vid jämförelse mellan Referens 1 "Ref.NB.I", som representerar nuvarande beställningar av virke, och simuleringar av geografiska beställningar av virke (tabell 5). Jämförelser mellan Ref.NB.I och simuleringar av geografiska beställningar av virke ger den maximala besparingspotentialen för respektive simulering.

Störst besparingspotential uppstår mellan Optimeringslösning 3 "GB.II" och Referens 1 "Ref.NB.I". Den besparingspotentialen uppgår till 7 348 199 kr och utgör 8 procent.

Näst störst besparingspotential återfinns mellan Optimeringslösning 9 "GB.V" och Referens 1 "Ref.NB.I". Den besparingspotentialen uppgår till 7 101 664 kr och utgör 7,8 procent.

Tredje störst besparingspotential finns mellan Optimeringslösning 5 "GB.III" och Referens 1 "Ref.NB.I". Den besparingspotentialen uppgår till 6 934 275 kr och utgör 7,6 procent.

Fjärde störst besparingspotential finns mellan Optimeringslösning 8 "GB.IV" och Referens 1 "Ref.NB.I". Den besparingspotentialen uppgår till 6 330 686 kr och utgör 6,9 procent.

Andra jämförelser kan också göras för att uppskatta besparingspotentialer.

Om Optimeringslösning 7 "NB.V" jämförs med Optimeringslösning 8 "GB.IV" uppgår besparingspotentialen till 1 455 111 kr och utgör 1,7 procent. De två optimeringslösningarna var simuleringar med samma restriktioner som återspeglar verkligheten väl när tidskrav, vinterlagringsmöjligheter och årstidsbegränsning tas i beaktning. En jämförelse mellan de två optimeringslösningarna ger därför en relevant besparingspotential av transportkostnaden. Därför kan en jämförelse mellan dem utgöra minimum av den besparingspotential som finns av transportkostnaden med att införa geografiska beställningar av virke.

Jämförelse mellan Optimeringslösning 9 "GB.V" och Optimeringslösning 7 "NB.V" ger en besparingspotential om 2 226 089 kr och uppgår till 2,6 procent. Den här jämförelsen ger en besparingspotential som är 0,9 procent högre och ger 770 978 kr mer än besparingspotentialen mellan Optimeringslösning 7 och 8. Ökningen i besparingspotentialen beror på att årstidsbegränsningen tagits bort för bestånden i Optimeringslösning 9 "GB.V". Därmed återfås den minimala besparingspotentialen genom att hänsyn till beståndens årstidsklassning tagits bort.

Om Optimeringslösning 4 "NB.III" jämförs med Optimeringslösning 5 "GB.III" uppgår besparingspotentialen till 2 133 422 kr och utgör 2,5 procent. De två optimeringslösningarna har enbart tidskrav som restriktion.

Om Optimeringslösning 8 "GB.IV" jämförs med Optimeringslösning 3 "GB.II" uppgår besparingspotentialen till 1 017 513 kr och utgör 1,2 procent. Inom Optimeringslösning 8 ingick samtliga restriktioner, vilka var tidskrav, vinterlagringsmöjligheter och årstidsbegränsning. Medan Optimeringslösning 3 inte hade några restriktioner. Då båda optimeringslösningarna var simuleringar av geografiska beställningar visar jämförelsen besparingspotentialen om man kunde bortse från samtliga restriktioner. Vinterlagringsmöjligheten ger däremot större besparingspotential eftersom tidskravet tas bort för perioden mellan december till maj.

Jämförelser mellan Optimeringslösning 5 "GB.III" och Optimeringslösning 9 "GB.V" ger en besparingspotential om 167 389 kr och uppgår till 0,2 procent. Båda optimeringslösningarna var simuleringar av geografiska beställningar men med olika restriktioner. Optimeringslösning 5 hade tidskrav som restriktion. Optimeringslösning 9 hade tidskrav och vinterlagringsmöjlighet som restriktion. Därmed visar jämförelsen besparingspotentialens storlek med vinterlagringsmöjligheten.

Om Optimeringslösning 8 "GB.IV" och Optimeringslösning 5 "GB.III" jämförs uppgår besparingspotentialen till 603 589 kr vilket utgör 0,7 procent. Båda optimeringslösningarna var simuleringar av geografiska beställningar med olika restriktioner. Optimeringslösning 5 hade tidskrav som restriktion. Optimeringslösning 8 hade tidskrav, vinterlagringsmöjligheter och årstidsbegränsning som restriktion. Besparingspotentialen visar hur mycket de totala transportkostnaderna minskades om restriktionerna vinterlagringsmöjlighet och årstidsbegränsning togs bort. Vinterlagringsmöjligheten minskar transportkostnaden men årstidsbegränsningen ökar transportkostnaden. Den sammanvägda påverkan av restriktionerna blev att de totala transportkostnaderna ökade.

3.2 Jämförelser av transportarbete och avstånd

De optimeringslösningar som simulerade geografiska beställningar hade minst totalt transportarbete samt lägre volymvägt medeltransportavstånd än samtliga optimeringslösningar som simulerade nuvarande beställningar (tabell 6). Däremot hade inte alla optimeringslösningar som simulerade geografiska beställningar lägre medeltransportavstånd än de optimeringslösningar som simulerade nuvarande beställningar. Optimeringslösning 2 "NB.II" hade lägre medeltransportavstånd än Optimeringslösning 5 "GB.III" och Optimeringslösning 8 "GB.IV". Optimeringslösning 2 hade inga restriktioner i jämförelse med Optimeringslösning 5 och 8, vilket torde vara anledningen till att de fick högre medeltransportavstånd.

Störst totalt transportarbete (108 785 396 tonkm) och längst medeltransportavstånd (120,1 km) samt volymvägt medeltransportavstånd (122,7 km) hade Referens 1 "Ref.NB.I" (tabell 6).

Minst totalt transportarbete hade Optimeringslösning 3 "GB.II" med 97 576 802 tonkm, vilket var 10,3 procent mindre än Referens 1 "Ref.NB.I". Optimeringslösning 3 "GB.II" hade näst kortast medeltransportavstånd med 108,8 km samt kortast volymvägt medeltransportavstånd med 110,1 km, vilka var 9,4 respektive 10,3 procent lägre än Referens 1 "Ref.NB.I".

Näst minst totalt transportarbete hade Optimeringslösning 9 "GB.V" med 97 952 896 tonkm, vilket var 10 procent mindre än Referens 1 "Ref.NB.I". Optimeringslösning 9 "GB.V" har kortast medeltransportavstånd med 108,7 km, vilket var 9,5 procent kortare än Referens 1 "Ref.NB.I". Vidare har Optimeringslösning 9 "GB.V" näst kortast volymvägt medeltransportavstånd med 110,5 km, vilket var 9,9 procent lägre än Referens 1 "Ref.NB.I".

Jämförs Optimeringslösning 8 "GB.IV" med Optimeringslösning 7 "NB.V" är skillnaden i totalt transportarbete 2 220 799 tonkm till fördel för Optimeringslösning 8 "GB.IV". Besparingspotentialen utgör 2,2 procent av totalt transportarbete för Optimeringslösning 7 "NB.V". Skillnaden visar den minimal besparingspotentialen av totalt transportarbete som finns med geografiska beställningar av virke.

Skillnaden i totalt transportarbete mellan Optimeringslösning 4 "NB.III" och Optimeringslösning 5 "GB.III" uppgår till 3 254 726 tonkm till fördel för optimeringslösning 5 "GB.III", och utgör 3,2 procent av totalt transportarbete.

Jämförs Optimeringslösning 9 "GB.V" med Optimeringslösning 7 "NB.V" blir skillnaden i totalt transportarbete 3 396 647 tonkm, vilket utgör 3,4 procent. Skillnaden visar den minimala besparingspotentialen av totalt transportarbete som finns med geografiska beställningar av virke, om årstidsbegräsning för bestånden togs bort.

Jämförs Optimeringslösning 9 "GB.V" med Optimeringslösning 5 "GB.III" blir skillnaden i totalt transportarbete 255 327 tonkm, vilket utgör en besparingspotential om 0,3 procent. Skillnaden visar transportarbetets besparingspotential med vinterlagringsmöjligheten.

Jämförs Optimeringslösning 8 "GB.IV" med Optimeringslösning 9 "GB.V" blir skillnaden i totalt transportarbete 1 175 848 tonkm, och utgör 1,2 procent. Skillnaden visar årstidsbegränsningens påverkan på transportarbetet.

Tabell 6. Totalt transportarbete, medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd för Referens 1 och samtliga optimeringslösningar

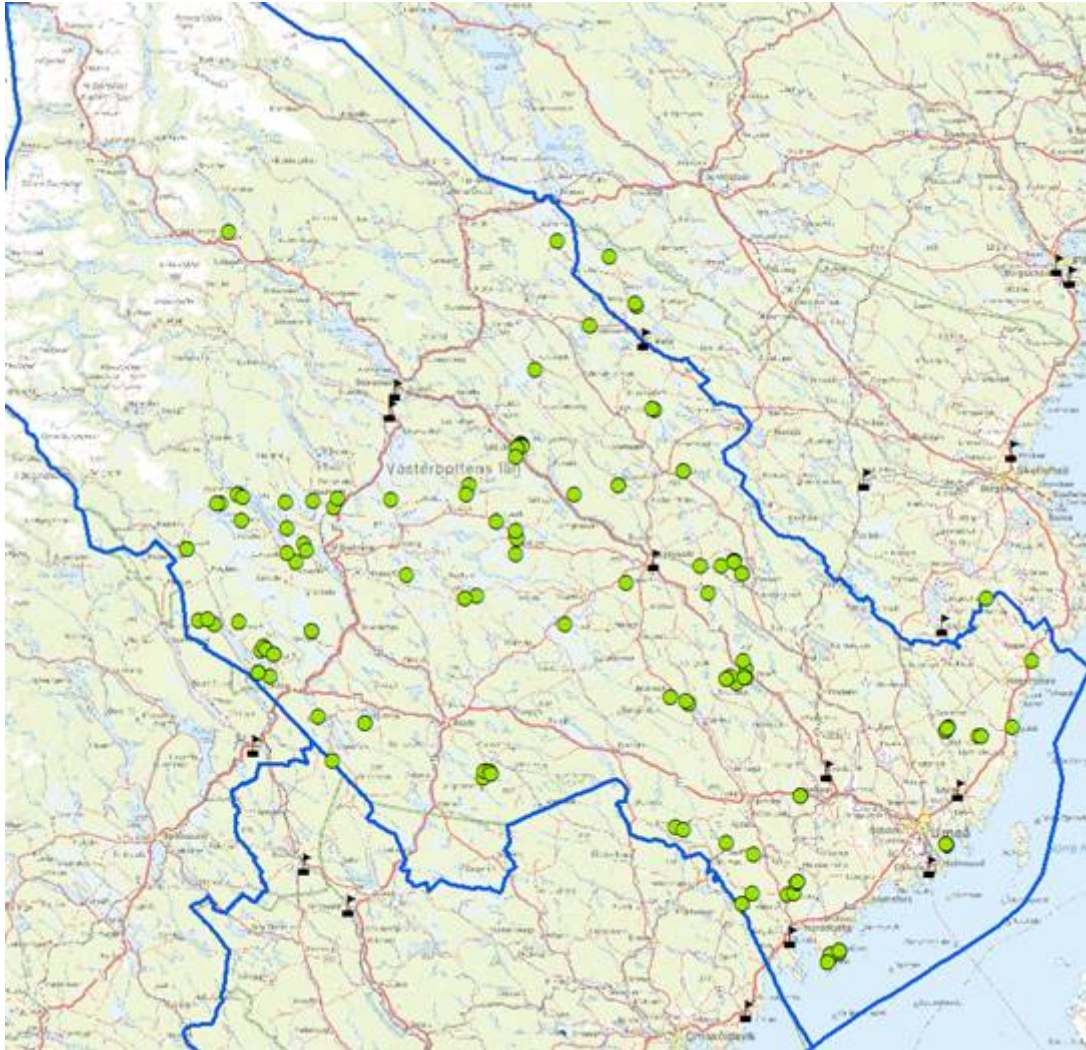
Table 6. Total transport output, average transport distance and volume weighted average transport distance of Reference 1 and the optimization solutions

Referens/ Optimerings- lösning	Totalt transportarbete (ton*km) (%)	Medeltransport- avstånd (km) (%)	Volymvägt medeltransport- avstånd (km) (%)
1 Ref.NB.I	108 785 396 (100)	120,1 (100)	122,7 (100)
2 NB.II	99 380 823 (91,4)	109,0 (90,8)	112,1 (91,4)
3 GB.II	97 576 802 (89,7)	108,8 (90,6)	110,1 (89,7)
4 NB.III	101 462 949 (93,3)	110,3 (91,8)	114,5 (93,3)
5 GB.III	98 208 223 (90,3)	109,4 (91,1)	110,8 (90,3)
6 NB.IV	100 299 121 (92,2)	110,2 (91,8)	113,2 (92,3)
7 NB.V	101 349 543 (93,2)	111,2 (93,4)	114,4 (93,2)
8 GB.IV	99 128 744 (91,1)	109,1 (90,8)	111,9 (91,2)
9 GB.V	97 952 896 (90,0)	108,7 (90,5)	110,5 (90,1)

3.3 Skillnader i geografisk spridning av bestånd mellan Optimeringslösning

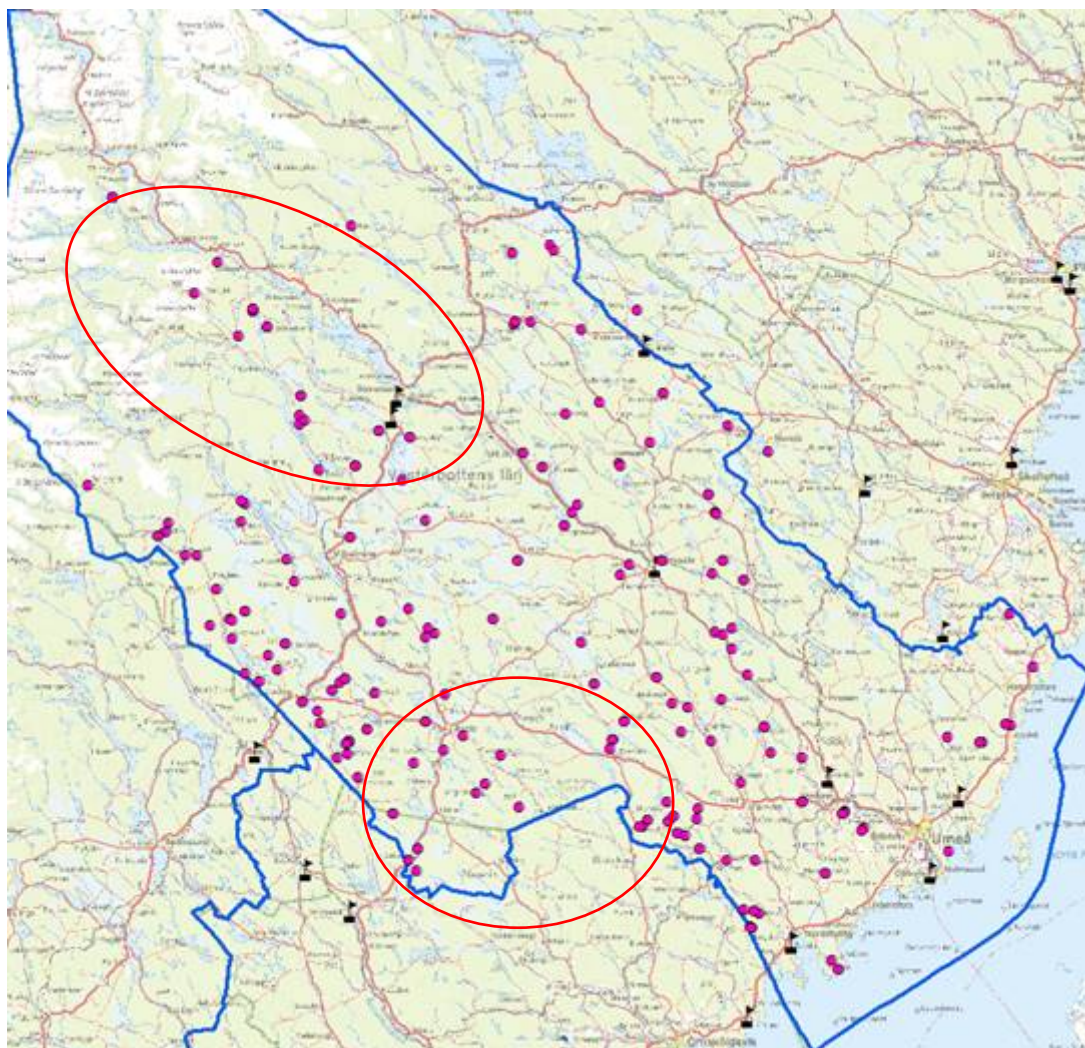
4 "NB.III" och Optimeringslösning 5 "GB.III"

Det fanns en antydning till skillnad i hur Optimeringslösning 4 "NB.III" geografiskt spred sitt val av bestånd jämfört med hur Optimeringslösning 5 "GB.III" spred sitt val av bestånd. Optimeringslösning 5 "GB.III" spred sitt val av bestånd något mer än Optimeringslösning 4 "NB.III" (figur 13 och 14). Framförallt är det de inringade områdena i figur 14 som 5 "GB.III" täcker in som 4 "NB.III" inte täcker in, (jfr. figur 13 och 14).



Figur 13. Optimeringslösning 4 "NB.III" val av bestånd under en 4-veckorsperiod från vecka 7 till 10 under 2015 (Frisk 2016, pers. komm 2016-03-31).

Figure 13. Optimization solution 4 "NB.III" choice of stocks over a 4-week period from week 7 to 10 in 2015 (Frisk 2016, pers. komm 2016-03-31).



Figur 14. Optimeringslösning 5 "GB.III" val av bestånd under en 4-veckorsperiod från vecka 7 till 10 under 2015. De inringade områdena visar var Optimeringslösning 5 "GB.III" täcker in områden som inte Optimeringslösning 4 "NB.III" täcker in under samma tidsperiod (Frisk 2016, pers. komm 2016-03-31).

Figure 14. Optimization solutions 5 "GB.III" choice of stocks over a 4-week period from week 7 to 10 in 2015. The circled areas show were Optimization solutions 5 "GB.III" covers areas were Optimization solutions 4 "NB.III" are not covering during the same period (Frisk 2016, pers. komm 2016-03-31).

4. Diskussion

4.1 Optimering

För att genomföra studien och erhålla goda resultat beslutades att flödesoptimeringar var det bästa alternativet. Anledningarna var många, framförallt skulle flödesoptimeringarna innebära att resultat kunde erhållas relativt fort samt att de skulle vara trovärdiga eftersom flera parametrar kunde tas med. Att utföra en sådan omfattande studie av ett stort datamaterial utan något optimeringsverktyg, likt FlowOpt, skulle troligen innebära ett för omfattande manuellt arbete som kan leda till många felkällor och mänskliga misstag. Dessutom förlorar resultaten trovärdighet och användbarhet om studien inte kan ta hänsyn till flera nödvändiga parametrar och aspekter.

Efter noga överväganden och diskussioner beslutades att beställa flödesoptimeringar av konsult Mikael Frisk som är en av grundarna till FlowOpt. Det andra alternativet, som valdes bort, var att utforma ett eget optimeringsverktyg. Det bortvalda alternativet hade tagit lång tid, och inte varit möjligt inom ramen för ett examensarbete. Beslutet visade sig vara klokt ur flera perspektiv. En av anledningar var att datamaterialet var stort och medförde att en del justeringar i FlowOpt behövde utföras för att genomföra flödesoptimeringarna. Om ett eget optimeringsverktyg utformats hade det förmodligen blivit en enklare modell som inte hade kunnat hantera lika många parametrar.

FlowOpt som optimeringsverktyg

Det som gör FlowOpt värdefullt och användbart är att systemet kan ta hänsyn till flera aspekter och använda olika informationskällor för att finna de bästa lösningarna. Dessutom har FlowOpt funnits sedan 2003 och är väl beprövat och utvecklat, vilket gör verktyget än mer förtroligt (Frisk 2016, pers. komm 2016-03-31). Det finns en del aspekter som alltid bör hållas i åtanke när optimeringsresultat från FlowOpt studeras. Exempelvis är FlowOpt resultat teoretiska. Trots att många aspekter kan tas med för att återskapa verkligheten kan resultaten aldrig fullständigt återspegla verkligheten och framtiden. Det finns en mängd oförutsedda händelser som kan inträffa i verkligheten som ändrar förutsättningarna. Det kan vara allt från punktering på ett virkesbilsdäck till tidigare tjällossning än väntat eller mänskliga faktorer. Därför bör FlowOpt resultat studeras med en viss försiktighet, och antas som en rekommendation istället för en tydlig order.

Datamaterialets tillförlitlighet

Det erhållna transportdatat är av god kvalitet och tillförlitlighet då det kommer från SDC. Produktionsdatat som kommer från SCA Skogs egna skotarrapporteringsystem kan förväntas hålla god kvalitet och tillförlitlighet. Eftersom SCA Skog bör vara intresserad av att datainsamlingen är av god kvalitet för att erhålla kvalitativa uppföljningar. Det är svårt att uppskatta om produktionsdatat håller lika god kvalitet som SDCs transportdata som kvalitetssäkras. SDC är ett företag som skall vara opartisk och som finns till för att leverera kvalitetssäkrad information till exempelvis skogsbolag, och därför är data från SDC av ytterst god kvalitet. Dock, är det ingenting som påverkar den här studiens resultat eftersom enbart skillnader och besparingspotentialer utreds. Alla optimeringslösningar samt Referens 1 har samma datamaterial, vilket gör att skillnaderna och besparingspotentialerna inte påverkas.

Utformning av efterfråge- och tillgångstabell till FlowOpt

För att utforma efterfråge- och tillgångstabellen användes information från transport- och produktionsdatat för Västerbottens skogsförvaltning under 2015. Allra först rensades datamaterialet av bestånd som inte fanns med i både transport- och produktionsdatat, vilket medförde att antalet bestånd blev något färre för veckorna kring årsskiftet för 2015. Detta beror på att vissa bestånd som skötades under slutet av 2015 transporterades först under 2016, och vissa beståndsvolymer som transporterades under början av 2015 hade skötats under slutet av 2014. För att FlowOpt skall kunna välja bestånd fritt under optimeringarna måste alla bestånd finnas representerade i båda tabellerna. I verkligheten är det därför något fler bestånd som användes under 2015.

När datamaterialet studerades upptäcktes att virkes- och sortimentsvolymerna inte var densamma för bestånd mellan produktions- och transportdatat. Det kan bero på olika saker, bland annat sortimentsvandring. Eftersom virkesvolymerna per sortiment skulle vara samma för alla bestånd mellan efterfråge- och tillgångstabellen valdes att enbart använda sig av virkesvolymerna per sortiment och bestånd från transportdatat. Anledningen är att leveransvolymerna till mottagningarna per två-veckorsperiod fick utgöra mottagningarnas efterfrågan för denna period, och därför var det av störst vikt att använda transportdatat. För efterfrågetabellen kunde all information hämtas från transportdatat. För att kunna använda transportdatat till tillgångstabellen, synkades transport- och produktionsdatat samman. Vecko-informationen hämtades från produktionsdatat för att veta vilka veckor som avläggen skapades. Resterande information till tillgångstabellen hämtades från transportdatat. Alla ändringar sammantaget leder till att tabellerna är en förenkling av verkligheten för att vara lämplig som indata till flödesoptimeringarna, vilket bör beaktas när resultaten från FlowOpt studeras. Däremot är dessa förenklingar densamma för alla optimeringslösningar och Referens 1, vilket medför att varken jämförelser, skillnader eller besparingspotentialer påverkas i studien. Därför kan dessa förenklingar försummas i denna studie.

Storlek på indata till FlowOpt

Det initiala datamaterialets storlek, vilket skulle användas som indata till flödesoptimeringarna, visade sig vara stort. För FlowOpt skulle antalet möjliga alternativ bli av en nästintill icke hanterbar art och föranleda att endast en optimering hade tagit flera dygn. Det hade inte heller varit säkert att lösningarna och resultaten skulle bli användbara. Till följd av indataets storlek krävdes att periodiseringen av datamaterialet omformulerades. Tidigare utgjordes en period av en vecka, vilket innebar att indata utgjordes av 53 perioder efter de 53 veckor som 2015 innehöll. Efter att problemet uppdragats omformulerades periodiseringen till att innehålla två veckor. Detta leder till att indata har 27 perioder istället för 53. Antalet veckor går inte jämnt ut på alla perioder, vilket föranleder att en period innehåller en vecka istället för två veckor. Dessutom infaller endast 4 dagar av vecka 53 inom året för 2015. Detta torde därför leda till att studien innehåller några extra dagar än vad 2015 hade. De extra dagarna bör öka valmöjligheten något för FlowOpt, då det finns fler dagar att använda för skotning eller transport.

Vägplogningskostnad och returtransporter

Inom den här studien har inte hänsyn tagits till eventuella vägplogningskostnader och dess påverkan på transportkostnaden. Vägplogningskostnaden skulle kunna öka om bestånden sprids mer geografiskt och om det bli fler vägar som behöver plogas. Är bestånden mer

klustrade kanske flera bestånd finns i anslutning till samma väg och då behövs bara en vägplogningskostnad för flera bestånd.

I den här studien har inte returtransporter och andel tomkörning inkluderats. Därför kan inte andel tomkörning per optimeringslösning eller referens redovisas.

Heltalsformuleringar

Optimeringslösningarna utfördes antingen med eller utan heltalsformuleringar. För optimeringslösningar med heltalsformuleringar innebar det att ett tidskrav applicerades. För de optimeringslösningar utan heltalsformuleringar fanns inget tidskrav, vilket innebar att transporter av virke från ett bestånd kunde pågå under hela året. Det fanns därmed inget tidskrav för hur länge virke får lagras på avlägg. Förfarandet utan tidskrav representerar inte verkligheten särskilt väl när det under vår, sommar och höst finns krav på hur länge virke får lagras utan att virkeskvaliteten försämras. Därför är de optimeringslösningar utan tidskrav inte lika verklighetstroga som de optimeringslösningar med tidskrav.

För de optimeringslösningar som har tidskrav är risken liten att virke skall angripas av kvalitetssänkande angrepp. Optimeringslösningarna inom Omgång 2 med restriktionen tidskrav återspeglar inte heller verkligheten fullt ut, eftersom tidskravet råder året runt. I verkligheten finns vinterlagringsmöjligheter under månaderna december till maj inom Västerbottens skogsförvaltning utan att virkeskvaliteten påverkas (Sakari 2016, pers. komm 2016-04-11). Optimeringslösningarna i Omgång 3 med tidskrav, vinterlagringsmöjligheter och årstidsbegränsning är därför med verklighetstroga eftersom vinterlagring tillåts. Resterande del av året råder tidskravet.

Årstidsklassning

För optimeringslösningarna inom Omgång 3 applicerades en årstidsklassning för samtliga bestånd. Av alla bestånd som valdes för avverkning samt transport under 2015 av Västerbottens skogsförvaltning hade cirka 18 procent ingen årstidsklassning. Till dessa bestånd fördelades en årstidsklassning enligt den årstid som de avverkades under i verkligheten. Tillvägagångssättet borde vara representativt eftersom det kan förväntas att Västerbotten skogsförvaltning valt att avverka bestånd när det är lämpligast under året. Tillvägagångssättet kan av olika anledningar leda till att bestånden får fel årstidsklassning. En anledning kan vara att Västerbottens skogsförvaltning var tvingad att avverka ett bestånd under en årstid som inte var lämplig. Dock, anses risken vara relativt liten eftersom andelen bestånd utan årstidsklassning enbart utgjorde 18 procent.

4.2 Optimeringsresultat

Transportkostnad och besparingspotential

Generellt hade samtliga optimeringslösningar som simulerade nuvarande beställningar av virke högre total transportkostnad än samtliga simuleringar för geografiska beställningar av virke. Detta antyder att geografiska beställningar av virke ger en lägre transportkostnad.

Studien visade att Referens 1 "Ref.NB.I" hade den högsta totala transportkostnaden, störst totalt transportarbete, längst medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd av samtliga optimeringslösningar. Resultatet för Referens 1 "Ref.NB.I" var väntat. I verkligheten finns många oförutsedda händelser som kan inträffa, vilka kan radera den

tänkta planeringen och generera merkostnader. Dessutom är val av bestånd för avverkning och transport i verkligheten mer eller mindre ett manuellt arbete av produktionsledare och transportledare. I övriga optimeringslösningar utförs val av bestånd av FlowOpt som genom matematiska algoritmer räknar ut det bästa valet. Att för en människa mäta sig mot ett optimeringssystem är därför svårt. Allt sammantaget gör att det inte blir särskilt representativt att jämföra verkligheten med optimeringslösningar.

Studien visade att den totala besparingspotentialen med geografiska beställningar av virke ligger mellan 1,7 och 6,9 procent av den totala transportkostnaden. Besparingspotentialen bör därför hamna mellan 1 455 111 kr och 6 330 686 kr under 2015 för Västerbottens skogsförvaltning. Om årstidsbegränsningen till bestånden kunde tas bort skulle besparingspotentialen bli ännu större. Idag följs årstidsklassningen för bestånd noggrant. Om hänsyn till årstidsklassningen skulle avskaffas skulle besparingspotentialen öka med minst 770 978 kr för Västerbottens skogsförvaltning under 2015. Besparingspotentialen med att avskaffa årstidsklassning kan ställas mot kostnaden för exempelvis rustning av väg och restaurering av eventuella körskador för att undersöka eventuell lönsamhet.

Viktigaste jämförelserna av totalt transportarbete och avstånd

Ofta korrelerade totalt transportarbete väl med medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd för optimeringslösningarna och Referens 1 "Ref.NB.I".

Studien visade att besparingspotentialen för det totala transportarbetet bör hamna mellan 2,2 och 8,9 procent vid ett införande av geografiska beställningar med dagens förutsättningar. Skulle årstidsbegränsningen tas bort ökar besparingspotentialen av totalt transportarbete. Den skulle då hamna mellan 3,4 till 10 procent.

Även medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd skulle minskas med ett införande av geografiska beställningar med 8,8 respektive 9,5 procent. Om årstidsbegränsningen kunde tas bort skulle minskningen bli ännu större. Den skulle då bli 9,5 respektive 9,1 för medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd.

En besparing av totalt transportarbete, medeltransportavstånd och volymvägt medeltransportavstånd besparar inte bara kostnader utan även tid samt en minskning av koldioxidutsläppen.

Skillnader i geografisk spridning av bestånd mellan Optimeringslösning 4 "NB.III" och Optimeringslösning 5 "GB.III"

För Optimeringslösning 4 "NB.III" och Optimeringslösning 5 "GB.III" illustrerades med kartbilder var i geografin som respektive beställningsförfarande valde bestånd under en tidsperiod om 4 veckor. En visuell jämförelse mellan kartbilderna visade att Optimeringslösning 5 "GB.III" tenderade att geografiskt sprida sitt val av bestånd något mer än vad Optimeringslösning 4 "NB.III" gjorde. Denna antydning kan styrka att det är bättre ur transportkostnadssynpunkt att geografiskt sprida ut valet av bestånd inom förvaltningen. Det skulle kunna bero på att det finns fler bestånd nära mottagningsplatser, till skillnad från om bestånden är mer klustrade. Dock, är det känsligt och svårt att dra några slutsatser utifrån den korta period som studerats. För att kunna fastslå slutsatser krävs djupare studier samt en längre undersökningsperiod.

4.3 Jämförelser med tidigare studier

Enligt Forsberg et al. (2005) finns vanligtvis en besparingspotential av kostnaderna mellan 5 till 10 procent till följd av en bättre transportplanering om optimeringssystem använts. I denna studie var den totala besparingspotentialen mellan Optimeringslösning 1 och 8 cirka 6,9 procent och stämmer därmed överens med tidigare studier av Forsberg et al. (2005). Om besparingspotentialen mellan optimeringslösning 7 och 8 studeras uppgår den till 1,7 procent och är därmed något lägre än Forsberg et al. (2005) antagande.

I en studie utförd av Frisk & Rönnqvist (2005a) användes FlowOpt för tre fallstudier av Sveaskog, Stora Enso och Sydved samt Södra skogsägarna och Holmen Skog. Studien visade på besparingspotentialer samt att transportoptimeringssystem likt FlowOpt är användbara för transportplanering (Frisk & Rönnqvist, 2005a). Denna studie styrker ytterligare att det finns besparingspotentialer med att använda FlowOpt för transportplanering inom skogsbolag.

Enligt en studie utförd av Bergdahl et al. (2003) minskades transportarbetet med cirka 8 – 9 procent om transportkostnaderna minskades för ett skogligt företag. Detta stämmer väl överens med de jämförelser av transportarbete mellan optimeringslösning 1 och 8, där optimeringslösning 8 hade 8,9 procent mindre transportarbete. Eftersom Optimeringslösning 8 utgår ifrån att hålla transportkostnad så låg som möjligt styrker tidigare studier denna studie.

4.4 Införande av geografiska beställningar på Västerbottens skogsförvaltning

Den här studien har påvisat att det finns besparingspotentialer av den totala transportkostnaden med att införa geografiska beställningar av virke. Det är ännu oklart huruvida avverkningskostnaden för Västerbottens skogsförvaltning skulle påverkas om geografiska beställningar skulle implementeras. Det finns en risk att avverkningskostnaden skulle öka, vilket kan medföra att det är olönsamt för SCA Skog att införa geografiska beställningar av virke inom Västerbottens skogsförvaltning.

Den minimala besparingspotentialen för total transportkostnad som fanns med att införa geografiska beställningar uppgick till 1 455 111 kr. Sammanlagt användes 1344 bestånd under 2015 av Västerbottens skogsförvaltning. Den minimala besparingspotentialen per bestånd blir således 1083 kr. Den maximala besparingspotentialen för total transportkostnad som fanns med att införa geografiska beställningar uppgick till 6 330 686 kr. Om även årstidsbegränsningen för bestånd kunde tas bort var den maximala besparingspotentialen 7 101 664 kr. Den maximala besparingspotentialen per bestånd blir således 4710 kr. Om årstidsbegränsningen kunde tas bort blir den maximala besparingspotentialen per bestånd 5284 kr. Innanför intervallet mellan 1083 – 5284 kr per bestånd bör besparingspotentialen hamna. Därmed kan avverkningskostnaden per bestånd öka till minst 1083 kr per bestånd och maximalt 5284 kr per bestånd, och det skulle fortfarande vara lönsamt att införa geografiska beställningar inom Västerbottens skogsförvaltning. För att klargöra om geografiska beställningar av virke är det mest lönsammaste sättet för Västerbottens skogsförvaltning, bör även avverkningskostnaden beräknas för de olika optimeringslösningarna. I nästa skede kan fastställas huruvida det är möjligt eller inte att införa geografiska beställningar på Västerbottens skogsförvaltning.

Om intresse finns kan vidare undersökningar utföras för eventuella införanden av geografiska beställningar av virke på övriga skogsförvaltningar inom SCA Skog. Skogsförvaltningarna inom SCA Skog skiljer sig från varandra genom att de har olika förutsättningar som innebär att direkta jämförelser mellan skogsförvaltningarna kan vara svåra att utföra. Västerbottens skogsförvaltning angränsar till skogsförvaltningar i både nordlig och sydlig riktning vilket ökar förutsättningar för byten av virkesråvara mellan förvaltningar och externa företag. Norrbottens skogsförvaltning angränsar enbart till en skogsförvaltning i syd, vilken är Västerbottens skogsförvaltning. Därmed har Norrbottens skogsförvaltning något sämre förutsättningar för byte av virkesråvara med andra skogsförvaltningar. Vidare ligger Jämtlands skogsförvaltning i inlandet, vilket skiljer sig från övriga skogsförvaltningar. Jämtlands skogsförvaltning har därmed längre transportavstånd till skogsindustrierna vid kusten. Dessutom har skogsförvaltningar inom SCA Skog olika stora arealer. Medelpads skogsförvaltning har betydligt mindre areal att förvalta än exempelvis Västerbottens skogsförvaltning. Alla skillnader som finns mellan skogsförvaltningarna försvårar direkta jämförelser mellan Västerbottens skogsförvaltning och övriga skogsförvaltningar vad avser ett införande av geografiska beställningar. Därför bör vidare undersökningar bedrivas inom området för att utreda möjligheten att införa geografiska beställningar på övriga skogsförvaltningar.

4.5 Fortsatt forskning inom området

För att utreda potentialen med att införa geografiska beställningar av virke inom Västerbottens skogsförvaltning och övriga förvaltningar inom SCA Skog, bör påverkan på avverkningskostnaden uppskattas. Detta är därför något som kan undersökas i en framtida studie eller forskning.

Vidare kan ytterligare en framtida studie eller forskning undersöka hur geografiska beställningar av virke skall utformas för att implementeras i förvaltningar på ett effektivt och optimalt tillvägagångssätt. Inom studien kan den geografiska spridningen för val av bestånd undersökas för hela året mellan olika optimeringslösningar, för att utreda hur den geografiska spridningen av bestånd kan indelas.

Enligt Saxton (2015) var det genomsnittliga utsläppet 0,13 kilo koldioxid per tonkilometer ($\text{kg CO}_2 / \text{tonkm}$) för tunga lastbilar under 2013. Minskningen av koldioxidutsläpp för virkestransporter motsvarar ungefär minskningen av volymvägt medeltransportavstånd. Samtliga optimeringslösningar som simulerade geografiska beställningar av virke fick lägre volymvägt medeltransportavstånd än optimeringslösningarna som simulerade nuvarande beställningar av virke. Således, bör koldioxidutsläppen minska med ett införande av geografiska beställningar av virke. Däremot, kan geografiska beställningar av virke generera ökade transporter av avverkningsmaskiner, vilket i sin tur ökar koldioxidutsläppen. För att få en helhetsbild över geografiska beställningars påverkan på koldioxidutsläppen bör även avverkningsmaskinernas transporter vägas in. Inom den här studien har inte andelen transporter av avverkningsmaskiner beräknats. För framtida studier bör även transporter av avverkningsmaskiner beräknas för att fastställa koldioxidutsläppens påverkan.

4.6 Slutsats

Följande slutsatser erhöles genom studien:

- Den maximala besparingspotentialen som finns med geografiska beställningar av virke uppgår till cirka 6,3 miljoner kr och utgör 6,9 procent av Västerbottens skogsförvaltnings transportkostnad under 2015.
- Den minimala besparingspotentialen av totala transportkostnaden för Västerbottens Skogsförvaltning uppgår till 1,5 miljoner kr och utgör 1,7 procent av Västerbottens skogsförvaltnings totala transportkostnad under 2015.
- Den maximala minskningen av transportarbetet som är möjlig att uppnå med dagens förutsättningar uppgår till 8,9 procent.
- Den minimala besparingspotentialen av totalt transportarbete för Västerbottens skogsförvaltning uppgår till 2 procent.
- Det finns en möjlig besparingspotential genom geografiska beställningar av virke inom Västerbottens skogsförvaltning. För att säkerställa besparingspotentialen för Västerbottens skogsförvaltning bör även avverkningskostnadens eventuella påverkan utredas.

Referenser

- Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. (2015). Bättre data ger effektivare transporter. Kunskapsbanken. (89). Tillgänglig: [http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2015/stammer-vaglagervolymer/](http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2015/stammer-vaglagervolymer/2016-02-24) [2016-02-24]
- Bergdahl, A., Örtendahl, A. & Fjeld, D. (2003). The economic potential for optimal destination of round wood in north Sweden - effects of planning horizon and delivery precision. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 14 (2) ss.81 – 88.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry, J.P. & Grebner, D.L. (2009). *Forest Management and Planning*. California, Elsevier Inc.
- Flisberg, P., Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2012). FuelOpt: a decision support system for forest fuel logistics. *Journal of the Operational Research Society*, ss. 1-13.
- Forsberg, M., Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2005). FlowOpt – A Decision Support Tool for Strategic and Tactical Transportation Planning in Forestry. *International Journal of Forest Engineering*, vol. 16 (2), ss. 101-114. Tillgänglig: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14942119.2005.10702519> [2015-09-09]
- Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2005)a. Analys av virkesflöden med FlowOpt – tre fallstudier. Skogforsk, Uppsala. Resultat, 15.
- Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2005)b. FlowOpt – en väg till effektivare virkesflöden. Skogforsk, Uppsala. Resultat, 8.
- Jung Woo, J. & Young Hae, L. (2010). Heuristic algorithms for production and transportation planning through synchronization of a serial supply chain. *International journal of production economics*, vol 124 (2) s. 435. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309004538> [2015-11-27]
- Lundgren, J., Rönnqvist, M. & Värbrand, P. (2003). *Optimeringslära*. 3. uppl. Lund, Studentlitteratur AB.
- Saxton, B. (2015). Lastbilars klimateffektivitet och utsläpp. Trafikanalys, Stockholm. Rapport, 12. Tillgänglig: http://www.trafa.se/globalassets/rapporter/rapport-2015_12-lastbilars-klimateffektivitet-och-utslapp.pdf [2016-06-06]
- SCA Skog AB (2013). SCA Skog. SCA Skog AB, Sundsvall. [PowerPoint-presentation] Tillgänglig: <http://www.sca.com/Global/SCA-Skog/Press-Publikationer/PDF/press/presentationer/SCA%20Skog%202012-2013%20SE%20aug2013.pdf?epslanguage=sv> [2015-11-10]
- SCA Skog AB (2015-08-25). Om SCA Skog. Tillgänglig: <http://www.sca.com/sv/skog/Om-SCA-Skog/> [2015-09-04]

SDC (2015). Om SDC. Tillgänglig: <http://www.sdc.se/default.asp?id=1019&ptid=> [2015-09-25]

SDC (2016). Virkesredovisning. Tillgänglig: <http://sdc.se/default.asp?id=1062&ptid=> [2016-02-19]

Skogforsk (2006). Utvecklingskonferens 2006 dokumentation. Skogforsk, Gävle. Redogörelse, 2.

Skogsindustrierna (2015-04-20). Branschfakta. Tillgänglig: <http://www.skogsindustrierna.org/branschen/branschfakta> [2015-09-15]

Skogsindustrierna (2013-08-15). Transport. Tillgänglig: <http://www.skogsindustrierna.org/branschen/branschfakta/transport> [2015-09-11]

Skogsstyrelsen (2014). Skogsstatistisk årsbok 2014. Skogsstyrelsen, Jönköping. Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk-Arsbok/Skogsstatistiska-arsbocker/> [2015-11-23]

Skogsstyrelsen (2015). Fakta om skogen. Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/Upptack-skogen/Skog-i-Sverige/Fakta-om-skogen/> [2015-09-15]

Ståhl, G. & Wilhelmsson, E. (1994). Planering av skogsbruk. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.

Sundberg, U. (2015). Basväg. Nationalencyklopedin. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/basvag> [2015-11-09]

Personlig kommunikation

Bylund, Anna. (2015) Produktionschef Västerbottens skogsförvaltning, SCA Skog AB.

Eklund, Lars. (2015) Transportledare Västerbottens skogsförvaltning, SCA Skog AB/Virke.

Frisk, Mikael. (2016) Konsult, Mikael Frisk Konsult AB.

Sakari, Henrik. (2015) Kundförsörjningschef, SCA Skog AB/Virke.

Sakari, Henrik. (2016) Kundförsörjningschef, SCA Skog AB/Virke.

Ölund, Jonas. (2015) Flödesplanerare Norrbottens- & Västerbottens skogsförvaltning, SCA Skog AB/Virke.

Bilaga 1 FlowOpt formler

Formler och uttryck hämtades från Flisberg et al. (2012). Den optimeringsmodell som Flisberg et al. (2012) presenterade användes till den här studien. De delar som innehåller tågtransporter med tillhörande system, kostnader och avgifter samt sönderdelning av skogsbränsle användes inte i den här studien.

Index

H : Assortments index (h)

G : Assortment groups index (g)

T : Time periods index (t)

I : Supply points in the forests index (i)

J : Demand points at heating plants index (j)

M : Terminals for storage and chipping index (m)

K : Truck system index (k , K^C : combo trucks $\in K$)

N : Machine system for chipping index (n)

Q : Train system index (q)

Lq : Pairs of origin and destination for each tour segment used by train system (q)

Parametrar för försörjningsnoder

S_{iht} : Supply of assortment h at supply point i in period t

c_{iht}^B : Unit cost to purchase assortment h at supply (or demand point) i in period t

c_{iht}^I : Unit inventory cost of assortment h at supply point i in period t

Parametrar för mottagningsplatser

D_{jgt}^- : Minimal demand at demand point j of assortment group g in period t

D_{jgt}^+ : Maximal demand at demand point j of assortment group g in period t

p_{jg} : Value (selling price) of assortment group g at demand point j

c_{jgt}^P : Unit cost for not fulfilled demand at demand point j of assortment group g in period t

c_{jgt}^J : Inventory cost at demand point j of assortment group g in period t

u_j^{J+} : Maximal inventory level at demand point j

Parametrar för terminaler

SO_{mgh}^M : Initial inventory at terminal m of assortment h for assortment group g

c_{mh}^M : Unit inventory cost at terminal m of assortment h

u_m^{M+} : Maximal flow to terminal m in one time period

u_{mht}^{M0-} : Minimal inventory level for terminal m of assortment h in period t

u_{mht}^{M0+} : Maximal inventory level for terminal m of assortment h in period t

u_{mt}^{M1-} : Minimal inventory level of all assortments for terminal m in period t

u_{mt}^{M1+} : Maximal inventory level of all assortments for terminal m in period t

u_t^{M2-} : Minimal inventory level over all terminals and assortments in period t

u_t^{M2+} : Maximal inventory level over all terminals and assortments in period t

Parametrar för transport

d_{ij}^D : Distance between location i and location j

c_{qijght}^T : Unit train transport cost for train system q in period t from terminal i to terminal j of assortment h for assortment group g

u_{qij}^{Q+} : Maximal load on train system q between terminals i and j

c_{ijgh}^A : Unit truck transport cost from location i to location j of assortment h for assortment group g

c^C : Cost to utilize extra transportation capacity

u_k^{KW} : Scaling factor for the transportation work for truck system k

u_k^{KC} : Transportation capacity for truck system k

Parametrar för kombinerade virkesbilar

u_{kt}^{CH} : Average driving speed for combo truck system k in period t

u_{kt}^{CW} : Average load for combo truck system k in period t

u_{kt}^{K+} : Total number of working hours for all trucks in combo truck system k in period t

Parametrar för flisning

C_{hn}^f : Unit cost for chipping assortment h with machine system n

C_n^N : Unit cost to contract extra chipping capacity for machine system n

$f_{h\bar{h}n}^c$: Conversion factor from assortment h to \bar{h} for machine system n

$f_{h\bar{h}n}^t$: Chipping time from assortment h to \bar{h} for machine system n

u_n^{f+} : Chipping capacity for machine system n

Beslutsvariabler

x_{ijght}^A = Flow from location i to location j of assortment h for assortment group g in period t

x_{qijght}^T = Flow with train system q that load at terminal i , unload at terminal j of assortment h for assortment group g in period t

b_{iht}^I = Bought volumes of assortment h at supply point i in period t

I_{iht}^{I1} = Inventory of assortment h at supply point i of not yet bought volumes in period t

I_{iht}^{I2} = Inventory of assortment h at supply point i (bought volumes) in period t

V_{ihnt}^{IT} = Chipped volume of assortment h at supply point i with machine system n

b_{jght}^J = Purchased volumes of assortment h for assortment group g at demand point j in period t

y_{jgt} = Fulfilled demand of assortment group g at demand point j in period t

w_{jgt}^P = Unfulfilled demand of assortment group g at demand point j in period t

l_{jgt}^J = Inventory of assortment group g at demand point j in period t

v_{mghnt}^{MT} = Chipped volume of assortment h for assortment group g at terminal m with machine system n in period t

l_{mghnt}^M = Inventory of assortment h for assortment group g at terminal m in period t

v_{jghnt}^{JT} = Chipped volume of assortment h for assortment group g at demand point j with machine system n in period t

b_{kt}^C = Extra transport capacity for truck system k contracted in period t

s_n^C = Extra chipping capacity contracted for machine system n

Stödparametrar

L_{qij}^S = Pairs of origin and destination for each tour segment that overlap segment (ij) for train system q

H_g^G = Assortments that can be used to fulfil assortment group g

H_k^K = Assortments that can be transported by truck system k

N_k^C = Machine systems associated with combo truck system k

$N_{ih\bar{h}}^I$ = Machines that convert assortment h to assortment \bar{h} at supply point i

N_{jhg}^J = Machine systems that convert assortment h to assortment group g at demand point j

$N_{mh\bar{h}}^M$ = Machine systems that convert assortment h to assortment group \bar{h} at terminal m

R^A : All truck flows (i, j, g, h, t)

R^T : All train flows (q, i, j, g, h, t)

P_m^T : All flows (g, h, t) in terminal m

P_m^M : All conversions (g, h, n, t) in terminal m

Målformulering

Den målformulering som användes till optimeringsmodellen såg ut som följande

$$\begin{aligned}
\max z = & \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} p_{jg} y_{jg} - \sum_{(ijght) \in R^A} c_{ijgh}^A x_{ijght}^A - \sum_{(qijght) \in R^T} c_{qijght}^T x_{qijght}^T \\
& - \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} c_{jgt}^j l_{jgt}^j - \sum_{m \in M} \sum_{(ght) \in P_m^T} c_{mgh}^M l_{mgh}^M - \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} \sum_{t \in T} c_{iht}^I (l_{iht}^{I1} \\
& + l_{iht}^{I2} - \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{t \in T} c_{jgt}^P W_{jgt}^P - \sum_{n \in N} c_n^N s_n^C - \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} c_k^C b_{kt}^C \\
& - \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} \sum_{\bar{h} \in H} \sum_{n \in N_{ih\bar{h}}^I} \sum_{t \in T} c_{hn}^f v_{ihnt}^{IT} - \sum_{m \in M} \sum_{(ghnt) \in P_m^M} c_{hn}^f v_{mghnt}^{MT} \\
& - \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{h \in H_g} \sum_{n \in N_{ih\bar{h}}^I} \sum_{t \in T} c_{hn}^f v_{jghnt}^{JT} - \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{h \in H_g} \sum_{t \in T} c_{jht}^B b_{jght}^J \\
& - \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} \sum_{t \in T} c_{iht}^B b_{iht}^I
\end{aligned}$$

Bivillkor

Bivillkor 1.

$$\begin{aligned}
S_{iht} + l_{ih(t-1)}^{I1} - b_{iht}^I - l_{iht}^{I1} &= 0 \\
\forall i \in I, h \in H, t \in T
\end{aligned}$$

Bivillkor 2.

$$\begin{aligned}
b_{iht}^I + l_{ih(t-1)}^{I2} - \sum_{\bar{h} \in H_i^I} \sum_{n \in N_{ih\bar{h}}^I} v_{ihnt}^{IT} + \sum_{\bar{h} \in H_i^I} \sum_{n \in N_{ih\bar{h}}^I} f_{\bar{h}hn}^c v_{ihnt}^{IT} \\
- \sum_{j,g:(ijght) \in R^A} x_{ijght}^A - l_{iht}^{I2} &= 0 \\
\forall i \in I, h \in H, t \in T
\end{aligned}$$

Bivillkor 3.

$$\begin{aligned}
l_{mgh(t-1)}^M + \sum_{i:(imght) \in R^A} x_{imght}^A + \sum_{q,i:(qimght) \in R^T} x_{qimght}^T \\
+ \sum_{\bar{h} \in H} \sum_{n \in N_{m\bar{h}h}^M} f_{\bar{h}hn}^c v_{mghnt}^{MT} - \sum_{\bar{h} \in H} \sum_{n \in N_{m\bar{h}h}^M} v_{mghnt}^{MT} \\
- \sum_{j:(mjght) \in R^A} x_{mjght}^A - \sum_{q,j:(qmjght) \in R^T} x_{qmjght}^T - l_{mgh}^M &= 0 \\
\forall m \in M, (ght) \in P_m^T
\end{aligned}$$

Bivillkor 4.

$$\sum_{g:(ght) \in P_m^T} l_{mght}^M \geq u_{mht}^{M0-}$$

$$\forall m \in M, h \in H, t \in T$$

Bivillkor 5.

$$\sum_{g:(ght) \in P_m^T} l_{mght}^M \leq u_{mht}^{M0+}$$

$$\forall m \in M, h \in H, t \in T$$

Bivillkor 6.

$$\sum_{g,h:(ght) \in P_m^T} l_{mght}^M \geq u_{mt}^{M1-}$$

$$\forall m \in M, t \in T$$

Bivillkor 7.

$$\sum_{g,h:(ght) \in P_m^T} l_{mght}^M \leq u_{mt}^{M1+}$$

$$\forall m \in M, t \in T$$

Bivillkor 8.

$$\sum_{m \in M} \sum_{g,h:(ght) \in P_m^T} l_{mght}^M \geq u_t^{M2-} \quad \forall t \in T$$

Bivillkor 9.

$$\sum_{m \in M} \sum_{g,h:(ght) \in P_m^T} l_{mght}^M \leq u_t^{M2+} \quad \forall t \in T$$

Bivillkor 10.

$$\sum_{i,g,h:(imght) \in R^A} x_{imght}^A \leq u_m^{M+} \quad \forall m \in M, t \in T$$

Bivillkor 11.

$$\begin{aligned} & \sum_{(ijght) \in R^A : h \in H_k^K} u_k^{KW} d_{ij}^D x_{ijght}^A / (u_{kt}^{CH} u_{kt}^{CW}) \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} \sum_{\bar{h} \in H} \sum_{n \in N_k^C} f_{h\bar{h}n}^t v_{ihnt}^{IT} \leq u_{kt}^{K+} \\ & \forall k \in K^C, t \in T \end{aligned}$$

Bivillkor 12.

$$\begin{aligned} & \sum_{j,g:(ijght) \in R^A} x_{ijght}^A - \sum_{n \in N_k^C} \sum_{\bar{h} \in H} f_{h\bar{h}n}^c v_{ihnt}^{IT} = 0 \\ & \forall i \in I, k \in K^C, h \in H_k^K, t \in T \end{aligned}$$

Bivillkor 13.

$$\begin{aligned} & \sum_{(ijght) \in R^A : h \in H_k^K} u_K^{KW} d_{ij}^D x_{ijght}^A - b_{kt}^C \leq u_k^{KC} \\ & \forall k \in K, t \in T \end{aligned}$$

Bivillkor 14.

$$\begin{aligned} & \sum_{m \in M} \sum_{g,h:(ghnt) \in P_m^M} \sum_{\bar{h} \in H} f_{h\bar{h}n}^t v_{mghnt}^{MT} - s_n^C \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{h \in H} \sum_{\bar{h} \in H} f_{h\bar{h}n}^t v_{ihnt}^{IT} + \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} \sum_{h \in H_g^G} f_{hgn}^t v_{jghnt}^{JT} \\ & \leq u_n^{f+} \quad \forall n \in N, t \in T \end{aligned}$$

Bivillkor 15.

$$\begin{aligned} & \sum_{(ij) \in L_{q\bar{i}\bar{j}}^S} \sum_{g \in G} \sum_{h \in H : (qijght) \in R^T} x_{qijght}^T \leq u_{q\bar{i}\bar{j}}^{Q+} \\ & \forall q \in Q, (\bar{i}, \bar{j}) \in L_q, t \in T \end{aligned}$$

Bivillkor 16.

$$\sum_{i:(ijght) \in R^A} x_{ijght}^A + b_{jght}^J - \sum_{n \in N_{jhg}^J} v_{jghnt}^{JT} = 0$$

$$\forall j \in J, g \in G, h \in H_g^G, t \in T$$

Bivillkor 17.

$$\sum_{h \in H_g^G} \sum_{n \in N_{jhg}^J} f_{hgn}^c v_{jghnt}^{JT} + l_{jg(t-1)}^j - l_{jgt}^j - y_{jgt} = 0$$

$$\forall j \in J, g \in G, t \in T$$

Bivillkor 18.

$$y_{jgt} + w_{jgt}^P \geq D_{jgt}^- \quad \forall j \in J, g \in G, t \in T$$

Bivillkor 19.

$$y_{jgt} \leq D_{jgt}^+ \quad \forall j \in J, g \in G, t \in T$$

Bivillkor 20.

$$\sum_{g \in G} l_{jgt}^j \leq u_j^{j+} \quad \forall j \in J, t \in T$$

Alla variabler ≥ 0 .

Bivillkor 1 och 2 anger lagernivå av icke inköpta och inköpta volymer vid respektive försörjningsnoder. Bivillkor 3 anger lagernivå vid terminaler och bivillkor 4 samt 5 anger respektive terminals minimala och maximala nivåer. Det finns ett antal olika specifikationer för lagernivåer vid terminaler genom att använda olika aggregeringar. Bivillkor 6 och 7 anger minimal och maximal nivå för varje terminal. Bivillkor 8 och 9 anger minimala och maximala nivåer för samtliga terminaler och sortiment. Bivillkor 10 anger maximal flöde till en terminal för varje tidsperiod. Bivillkort 11 anger kapaciteten hos ett kombinationssystem för virkesbilar. Bivillkor 12 anger att all flisad volym måste transporteras av samma system. Bivillkor 13 anger transportkapaciteten för virkesbilar och bivillkor 14 anger fliskapaciteten för flissystemen. Bivillkor 15 anger maximalt flöde för varje tågrutt. Slutligen anges bivillkor för efterfrågenoderna. Bivillkor 16 och 17 anger lagernivå för alla efterfrågenoder före och efter konverteringsaktivitet. Bivillkor 18, 19 och 20 anger minimal och maximal efterfrågan samt maximalt lager för varje efterfrågenod. Det ingående lagret för försörjnings- och efterfrågenoder är satta till 0, och för terminaler till SO_{mgh}^M . Alla variabler är icke negativa och modellen är ett LP-problem (Flisberg et al., 2012).

Bilaga 2 FlowOpt formler för heltalsproblem

Nedan presenteras formler för att hantera de heltalsproblem som inkluderades i studien (Frisk 2016, pers. komm 2016-08-19).

Needed extra defined sets, parameters and variables.

- T^b : set of periods where the binary restriction is used for the harvest decision
- T^r : set of periods where the binary restriction is relaxed for the harvest decision
- p^t : parameter representing the number of periods after harvesting transports can leave a supply area at the latest
- y^b : binary variable, 1 if harvest area i is harvested in period t , 0 otherwise
- y^r : variable describing how big part of harvest area i that is harvested in period t (relaxed version of variable y^b)

Added constraints.

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j,g,h:(ijght) \in R^A} x_{ijght}^A - \sum_{h \in H} \left(\sum_{t' \in T} S_{iht'} \right) \left(\sum_{t' \in T^b: t \leq t' \leq t+p^t} y_{it'}^b + \sum_{t' \in T^r: t \leq t' \leq t+p^t} y_{it'}^r \right) \leq 0, \quad \forall i \in I, t \in T \quad (x1)$$

$$\sum_{t \in T^b} y_{it}^b + \sum_{t \in T^r} y_{it}^r \leq 1, \quad \forall i \in I \quad (x2)$$

$$y_{it}^b \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, t \in T^b \quad (x3)$$

$$y_{it}^r \geq 0 \quad \forall i \in I, t \in T^r \quad (x4)$$

$$y_{it}^r \leq 1 \quad \forall i \in I, t \in T^r \quad (x5)$$

(x1) : Limited flow from harvest areas because of when the area is harvested

(x2) : A harvest area can only be harvested once

(x3) : Binary constraints on harvest decision

(x4) : Non-negative requirements on relaxed harvest decisions

(x5) : Upper limit on relaxed harvest decisions